



Escola de Camins

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
UPC BARCELONATECH

Efecte dels flotants en l'avaluació de la perillositat per inundació en zona urbana

Treball realitzat per:

Maria Elvira García Gisbert

Dirigit per:

Ernest Bladé Castellet

Víctor Guirado Tortosa

Màster en:

Enginyeria de Camins, Canals i Ports

Barcelona, juny 2019

Departament d'Enginyeria Civil i Ambiental

TREBALL FINAL DE MÀSTER

AGRAÏMENTS

A l'Agència Catalana de l'Aigua, en especial a l'Eva i l'Alex, que m'han facilitat l'accés a les seves bases de dades compartint transparència i professionalitat.

A l'Ernest, per la seva paciència, la disponibilitat i la dedicació al projecte. El treball que hem fet conjuntament m'ha servit de guia i de formació en l'àmbit de l'enginyeria hidràulica. Agrair també la seva confiança en la meva persona per iniciar aquesta nova línia de treball. Afegir la col·laboració del Marcos i les seves aportacions que ens han donat llum als nostres avanços.

Al Víctor i al Guillem, pel seu interès en tot el desenvolupament del projecte, pels seus consells i recomanacions, la flexibilitat presentada, la força transferida i l'agradable acollida. La vostra experiència em fa créixer cada dia.

A les meves amigues i a les companyes, per tot el suport transmès, pels ànims i les emocions compartides en aquest llarg procés.

A la meva família, pel vostre esforç que m'ha permès ser qui sóc i per l'empenta que m'heu donat des del primer dia de la meva vida. Aquest treball és tot vostre.

RESUM

L'estudi de l'efecte de les avingudes en zones urbanes és essencial per prevenir i mitigar els danys potencials que es poden produir, tant a la integritat de les persones com en la dels béns materials. L'augment del grau d'urbanització del territori i el canvi climàtic agreugen les condicions de les inundacions que es produeixen a les poblacions i comporten una major afectació als elements urbans.

En el present estudi es proposa avaluar la presència dels elements existents en un àmbit de la ciutat de Girona i considerar l'efecte dels vehicles estacionats en el territori per a l'elaboració de l'estudi d'inundabilitat hidràulica per diferents episodis d'avinguda. L'objectiu es centra en l'avaluació de la perillositat generada per efecte d'aquests flotants en contrast amb l'estudi hidràulic clàssic avalat per les administracions.

S'utilitza el model d'anàlisi Iber per a l'elaboració de l'estudi hidrològic i hidràulic de l'àrea i es genera un nou mòdul de transport de vehicles en condicions d'inundació que té en compte les característiques físiques dels tipus de cotxe i les variables que intervenen en la dinàmica de l'inici del moviment dels flotants. Aquest nou model es planteja en base al mòdul de transport de fusta, IberWood.

El desenvolupament del model hidràulic és fruit d'una cerca minuciosa de la informació disponible en l'àmbit per tal de representar el més detalladament possible la zona d'estudi. Gràcies a això, tot i les grans simplificacions considerades per a la generació del nou model de transport de vehicles, la simulació del moviment dels flotants ha suposat un èxit. Els resultats permeten observar com els elements són arrossegats i transportats per l'aigua aconseguint elaborar una comparativa de les trajectòries respecte els elements de fusta de IberWood.

L'avaluació de la perillositat es realitza a partir de dos criteris de valoració per poder-los comparar i mostrar uns comportaments més ajustats a les necessitats de la zona urbana. Els mapes de perillositat s'obtenen mitjançant l'aplicació dels rangs de perillositat tenint en compte diferents períodes de retorn i les corresponents respostes d'inundació.

La variació de la perillositat per l'efecte dels flotants resulta ser poc significativa. Els valors de calats i velocitats produïts per una determinada inundació són diferents per cada model hidràulic. Tanmateix, aquesta alteració no és suficientment representativa per canviar el rang de perillositat de l'àrea. Per tant, es reflecteix com l'efecte dels flotants en l'estudi de la perillositat d'un territori requereix d'una perspectiva localitzada en punts crítics de l'àmbit on es puguin produir greus danys.

Paraules clau: inundació urbana, perillositat de inundació, elements flotants, model hidràulic bidimensional, Iber, IberWood.

RESUMEN

El estudio del efecto de las inundaciones en zonas urbanas es esencial para prevenir y mitigar los daños potenciales que se pueden producir tanto a la integridad de las personas como a la de los bienes materiales. El aumento del grado de urbanización del territorio y el cambio climático agravan las condiciones de las inundaciones que se producen en las poblaciones y comportan una mayor afectación a los elementos urbanos.

En el presente estudio se propone evaluar la presencia de los elementos existentes en un ámbito de la ciudad de Girona y considerar el efecto de los vehículos estacionados en el territorio para la elaboración del estudio de inundabilidad hidráulica para diferentes episodios de inundación. El objetivo se centra en la evaluación de la peligrosidad generada por efecto de estos elementos flotantes en contraposición con el estudio hidráulico clásico avalado por las administraciones.

Se utiliza el modelo de análisis Iber para la elaboración del estudio hidrológico e hidráulico del área y se genera un nuevo módulo de transporte de vehículos en condiciones de inundación que tiene en cuenta las características físicas de los tipos de coche y las variables que intervienen en la dinámica del inicio del movimiento de los flotantes. Este nuevo modelo se plantea en base al módulo de transporte de madera, IberWood.

El desarrollo del modelo hidráulico es fruto de una investigación minuciosa de la información disponible en el ámbito para representar lo más detalladamente posible la zona de estudio. Gracias a esto, a pesar de las grandes simplificaciones consideradas para la generación del nuevo modelo de transporte de vehículos, la simulación del movimiento de los flotantes ha supuesto un éxito. Los resultados permiten observar como los elementos son arrastrados y transportados por el agua, consiguiendo elaborar una comparativa de las trayectorias respecto a los elementos de madera de IberWood.

La evaluación de la peligrosidad se realiza a partir de dos criterios de valoración para poderlos comparar y mostrar unos comportamientos más ajustados a las necesidades de la zona urbana. Los mapas de peligrosidad se obtienen mediante la aplicación de los rangos de peligrosidad teniendo en cuenta diferentes periodos de retorno y las correspondientes respuestas de inundación.

La variación de la peligrosidad por efecto de los flotantes resulta ser poco significativa. Los valores de calados y velocidades producidos para una determinada inundación son diferentes para cada uno de los modelos hidráulicos. Así mismo, esta alteración no es suficientemente representativa para cambiar el rango de peligrosidad del área. Por lo que, se refleja como el efecto de los flotantes en el estudio de la peligrosidad de un territorio requiere de una perspectiva localizada en puntos críticos del ámbito donde se puedan producir graves daños.

Palabras clave: inundación urbana, peligrosidad de inundación, elementos flotantes, modelo hidráulico bidimensional, Iber, IberWood.

ABSTRACT

The study of the effect of floods in urban areas is essential to prevent and mitigate the potential damage that can occur to the integrity of people and the material goods. The increase of the urbanization degree of the territory and the climatic change aggravate the conditions of the floods that take place in the populations and involve a greater affectation to the urban elements.

In the present study, it is proposed to evaluate the presence of the existing elements in an area of the city of Girona and to consider the effect of the vehicles parked in the territory in order to create the hydraulic flood study for different flood episodes. The objective focuses on the evaluation of the hazard generated by the effect of these floating elements, as opposed to the classic hydraulic study done by the administrations.

The Iber analysis model is used for the hydrological and hydraulic study and it is generated a new vehicle transport module in flood conditions that takes into account the physical characteristics of the car types and the variables related to the dynamic of the initial stage of movement.. This new model is based on the wood transport module, IberWood.

The development of the hydraulic model is the result of a thorough investigation of the information available in the field to represent as detailed as possible the study area. Thanks to this, the simulation of the movement of the floats has been a success, despite the great simplifications considered for the generation of the new vehicle transport model. The results allow to observe how the elements are dragged and transported, comparing the trajectories with respect to wood elements.

The evaluation of the hazard is carried out from two assessment criteria which allow their comparison and show behaviors more adjusted to the needs of the urban area. The hazard maps are obtained by applying the hazard ranges taking into account different return periods and the corresponding flood responses.

The hazard variation due to floating effects turns out to be insignificant. The values of drafts and velocities produced for a given flood are different for each of the hydraulic models. However, this alteration is not sufficiently representative to change the range of hazard in the area. Therefore, it is reflected as the effect of the floating in the study of the danger of a territory requires a localized perspective at critical points of the field where there can be caused serious damages.

Key words: urban flood, flood hazard, floating elements, two-dimensional hydraulic model, Iber, IberWood.

ÍNDEX DE CONTINGUT

1. INTRODUCCIÓ	10
1.1 Inundacions, catàstrofes naturals en medi urbà.....	10
1.2 Conceptes bàsics del risc d'inundació.....	12
1.3 Descripció de la zona d'estudi.....	14
1.3.1 Recull d'inundacions històriques	15
1.3.2 Inundacions en zona urbana.....	19
1.3.3 Estructura urbana	20
1.3.4 Justificació de l'àmbit d'estudi	23
1.4 Objectius.....	25
2. MODEL BIDIMENSIONAL DE LA DINÀMICA FLUVIAL.....	26
2.1 Anàlisi bidimensional de hidrodinàmica	26
2.2 Equacions del model numèric	27
2.3 Condicions de contorn.....	28
2.4 Condicions internes	28
2.5 Mòdul IberWood	29
2.5.1 Equacions de govern	29
2.5.2 Aproximació dinàmica o cinemàtica.....	31
2.5.3 Rotacions i interaccions	31
2.5.4 Efecte de la turbulència.....	34
2.5.5 Densitat dels troncs	34
2.5.6 Condicions inicials i de contorn.....	34
2.6 Discussió i necessitats d'estudi	35
2.6.1 Síntesi d'alguns estudis de validació	35
2.6.2 Model de transport de vehicles	35
3. METODOLOGIA	37
3.1 Introducció	37
3.2 Forces hidrodinàmiques actuant sobre el vehicle	37
3.3 Criteris de moviment	39
3.4 Interaccions	41
3.5 Interfície	41
3.5.1 Tipus i característiques dels vehicles	41
3.6 Criteris d'avaluació de la perillositat.....	44
3.7 Model hidrològic i hidràulic.....	46
3.7.1 Estudi hidrològic.....	46
3.7.2 Estudi hidràulic	58
4. RESULTATS DELS MODELS HIDRÀULICS.....	66
4.1 Model hidràulic	66
4.2 Model de transport de troncs	68

4.3	Model de transport de vehicles.....	70
4.4	Elements flotants	72
5.	DISCUSSIÓ DELS RESULTATS	75
5.1	Nivell de perillositat	75
5.2	Avaluació de la perillositat.....	77
5.3	Síntesi dels resultats	79
6.	CONCLUSIONS.....	80
6.1	Conclusions generals.....	80
6.2	Futurs desenvolupaments	81
7.	REFERÈNCIES	84

ANNEXES

ANNEX A. RELACIÓ CATEGORIES MCSC – COEFICIENTS DE RUGOSITAT DE MANNING

ANNEX B. AJUST DE LES ESTACIONS D’AFORAMENT

ANNEX C. OBRES DE DRENATGE DEL MODEL HIDROLÒGIC

ANNEX D. PARAMETRITZACIÓ DE LES ESTRUCTURES DEL MODEL HIDRÀULIC

ÍNDEX DE FIGURES

Figura 1. 1 Carrer inundat a València per les pluges de novembre de 2018 (La Vanguardia)....	10
Figura 1. 2 Arrossegament d'un contenidor durant les pluges de maig de 2019 a Paraguai (Severe Weather Europe).	11
Figura 1. 3 Efecte d'inundació urbana a Sitges.	12
Figura 1. 4 Probabilitat d'ocurrència de diversos episodis en funció del número d'anys a tenir en compte (ACA, 2018).	13
Figura 1. 5 Localització del municipi de Girona.	15
Figura 1. 6 L'Onyar a Girona en l'episodi d'octubre de 2010 (El Punt Avui).	17
Figura 1. 7 L'Onyar a Girona en l'episodi de setembre 2014 (El Punt Avui).	18
Figura 1. 8 Sistema d'embassaments de Sau, Susqueda i Pastoral.	20
Figura 1. 9 Organització urbana de Girona en barris i sectors (Ajuntament Girona).	21
Figura 1. 10 Intensitat comercial al centre de Girona (Ajuntament Girona, 2014).	22
Figura 1. 11 Densitat de l'oferta d'aparcament de Girona (Ajuntament Girona, 2014).	23
Figura 1. 12 Àmbit d'estudi.	24
Figura 2. 1 Esquema descentrat de segon ordre(Flumen Institute, 2018).	27
Figura 2. 2 Esquema de les variables usades en les condicions internes. Comporta sense vessador (esquerra), vessador sense comporta (centre), combinació comporta-vessador (dreta)(Bladé et al., 2014).	29
Figura 2. 3 Esquema i diagrama del balanç de forces de els components actuant sobre un element cilíndric de fusta(Ruiz-Villanueva et al., 2014a).	29
Figura 2. 4 Mecanismes de transport d'elements cilíndrics de fusta(Bladé et al., 2016).	31
Figura 2. 5 Definició d'element fusta. Tronc creuant diversos elements de malla (esquerra) i tronc inclòs en un únic element de malla (dreta) (Bladé et al., 2016).	32
Figura 2. 6 Col·lisió de dos troncs (dalt)i interacció de tronc amb paret (baix)(Ruiz-Villanueva et al., 2014a).	33
Figura 2. 7 Recàlcul de la posició del tronc segons si rebota (esquerra) o llisca (dreta) (Ruiz-Villanueva et al., 2014a).	33
Figura 3. 1 Principals forces actuant sobre un vehicle estacionat i parcialment submergit (Martínez, 2016).	38
Figura 3. 2 Esquema del criteri del moviment d'un vehicle (Martínez, 2016).	40
Figura 3. 3 Dimensions en metres dels vehicles patró(DGC, 2016).	42
Figura 3. 4 Localització dels diferents tipus de vehicles en la zona d'estudi.	43
Figura 3. 5 Conques simulades en l'estudi hidrològic.	46
Figura 3. 6 Malla del model hidrològic de les conques simulades.	47
Figura 3. 7 Identificació de les estructures incloses a les simulacions hidrològiques.	48
Figura 3. 8 Coeficients de rugositat de Manning emprats en les simulacions hidrològiques.	49
Figura 3. 9 Distribució de P_0 a la conca estudiada.	51
Figura 3. 10 Precipitació neta introduïda al model hidrològic.	52
Figura 3. 11 Localització de les estacions d'aforament.	55
Figura 3. 12 Cabals específics a les conques estudiades per a T_{500} en l'instant $t=6h$	56

Figura 3. 13 Cabals punta de la conca de l'Onyar obtinguts amb diferents mètodes de càlcul. .	57
Figura 3. 14 Hidrogrames obtinguts com a resultat de les simulacions hidrològiques i introduïts com a condicions de contorn d'entrada al model hidràulic.	58
Figura 3. 15 Àmbit del model hidràulic. MDT 2x2 de l'ICGC i les modificacions realitzades.	59
Figura 3. 16 Mides de referència (màximes) dels elements de la malla de càlcul emprada en el model hidràulic de l'àmbit.	60
Figura 3. 17 Vista de la malla de càlcul emprada en el model hidràulic de l'àmbit.	61
Figura 3. 18 Classificació dels coeficients de rugositat de Manning aplicats en el model hidràulic de l'àmbit.	62
Figura 3. 19 Localització i identificació de les estructures simulades.	63
Figura 3. 20 Localització de la condició de contorn d'entrada introduïda al model hidràulic.	64
Figura 3. 21 Localització de la condició de contorn de sortida introduïda al model hidràulic. ..	64
Figura 4.1 Mapes de calats per T010, T100 i T500 (d'esquerra a dreta) obtinguts amb Iber.	66
Figura 4.2 Mapes de velocitats per T010, T100 i T500 (d'esquerra a dreta) obtinguts amb Iber.	66
Figura 4.3 Mapes de cabal específic per T010, T100 i T500 (d'esquerra a dreta) obtinguts amb Iber.	67
Figura 4.4 Mapes de calats per T010, T100 i T500 (d'esquerra a dreta) obtinguts amb IberWood.	68
Figura 4.5 Mapes de velocitats per T010, T100 i T500 (d'esquerra a dreta) obtinguts amb IberWood.	69
Figura 4.6 Mapes de cabal específic per T010, T100 i T500 (d'esquerra a dreta) obtinguts amb IberWood.	69
Figura 4.7 Ubicació del punt on es produeix una concentració de velocitats elevades i mapa de velocitats T500 en l'instant $t = 35400$ s.	70
Figura 4.8 Mapes de calats per T010, T100 i T500 (d'esquerra a dreta) obtinguts amb IberVehicle.	70
Figura 4.9 Mapes de velocitats per T010, T100 i T500 (d'esquerra a dreta) obtinguts amb IberVehicle.	71
Figura 4.10 Mapes de cabal específic per T010, T100 i T500 (d'esquerra a dreta) obtinguts amb IberVehicle.	71
Figura 4.11 Ubicació dels troncs (esquerra) i dels vehicles (dreta) (*) en els passos de temps (de dalt a baix) $t = 600$ s, $t = 33000$ s, $t = 36000$ s, $t = 86400$ s.	73
Figura 5.1 Mapa de perillositats resultants del model d'Iber.	75
Figura 5.2 Mapa de perillositats resultants del model d'IberWood.	76
Figura 5.3 Mapa de perillositats resultants del model d'IberVehicle.	76
Figura 5.4 Diferència de perillositat entre model IberWood i model Iber segons criteri ACA (esquerra) i Russo i Martínez (dreta).	77
Figura 5.5 Diferència de perillositat entre model IberVehicle i model Iber segons criteri ACA (esquerra) i Russo i Martínez (dreta).	78

ÍNDIX DE TAULES

Taula 3. 1: Relació de variables entre IberWood i IberVehicle.	41
Taula 3. 2: Classificació i característiques dels vehicles introduïts al model.....	42
Taula 3. 3: Nombre de vehicles introduïts al model.....	44
Taula 3. 4: Classificació de la perillositat segons l'ACA (Gracia, et al, 2010).....	44
Taula 3. 5: Factor de perillositat segons la probabilitat d'ocurrència (Gracia, et al, 2010).	44
Taula 3. 6: Classificació de la perillositat segons Russo i Martínez (Martínez, 2016).	45
Taula 3. 7: Caracterització de les estacions d'aforament i representativitat pel calibratge.	54
Taula 3. 8: Cabals punta obtinguts a la conca de l'Onyar amb diferents metodologies de càlcul. 56	
Taula 3. 9: Estructures modelitzades en l'àmbit d'estudi.	62
Taula 4.1: Valors màxims dels resultats d'Iber.	67
Taula 4.2: Classificació i característiques dels troncs introduïts al mòdul IberWood.	68
Taula 4.3: Valors màxims dels resultats d'IberWood.	69
Taula 4.4: Valors màxims dels resultats d'IberVehicle.	71

1. INTRODUCCIÓ

1.1 Inundacions, catàstrofes naturals en medi urbà

Les inundacions són de les catàstrofes naturals amb més pèrdues de vides humanes a nivell mundial. Les dades de mortalitat són molt elevades tant en països rics com en països en vies de desenvolupament, però les pèrdues econòmiques que generen són d'especial rellevància respecte altres desastres naturals. A Espanya, les inundacions constitueixen la principal catàstrofe natural, causant el major nombre de danys al territori i a la població. Segons el Consorci de Compensació d'Assegurances, que és l'òrgan encarregat d'indemnitzar els danys no coberts per les pòlisses de les asseguradores, com en el cas de desastres naturals, s'estima una mitja de 800 milions d'euros anuals en termes de danys per inundacions.

La zona del Mediterrani és una de les més afectades del territori. La possibilitat de que es produeixin inundacions es deu al caràcter torrencial de les pluges del clima mediterrani, pluges molt intenses en conques petites i amb pendents elevades, que generen gran escorrentia superficial. Tanmateix, els efectes del canvi climàtic i les modificacions sobre el territori estan canviant la magnitud i la freqüència de les inundacions, aconseguint que les àrees on recurrentment s'hi produïen aquests fenòmens (zones inundables) es modifiquin i s'ampliïn. La transformació de l'entorn i sobretot, del sòl, està tenint un impacte fonamental en els processos del cicle hidrològic, especialment en els relacionats amb les avingudes, com per exemple la transformació de pluja en escorrentiu o la propagació de riuades (ACA, 2018). Aquests efectes, afegits a l'ocupació de les zones inundables, augmenten el grau de danys que es poden produir tant en termes de desperfectes materials com en afectacions a vides humanes.

L'efecte de les inundacions s'agreuja en les zones urbanes on la població està més concentrada i es disposa d'una densitat de béns major que a les zones rurals. La construcció d'edificacions i el creixement urbanístic desproporcionat de les últimes dècades ha provocat en diversos casos danys greus en zones urbanes on no es preveia cap inundació i no estaven preparades per a poder evacuar l'excés d'aigua. L'estudi de la hidrologia urbana a les poblacions i el drenatge de l'aigua superficial és de vital importància per evitar la circulació de fluxos d'aigua en els carrers que pugui suposar un perill per als vianants.



Figura 1. 1 Carrer inundat a València per les pluges de novembre de 2018 (La Vanguardia).

La hidrologia urbana té diversos objectius en les dinàmiques de les poblacions. Per una banda, estan els objectius higiènics i hidràulics corresponents al drenatge de l'aigua d'escorrentia superficial per al dimensionament de la xarxa de sanejament, i els objectius ambientals referents a la contaminació de les aigües residuals i pluvials (Martínez, 2016). Per una altra, també té

objectius de preservació de la seguretat urbana, permetent conèixer la dinàmica de l'escorrentia superficial per determinar els nivells d'aigua i les velocitats que es poden aconseguir en els carrers i avaluar el grau d'exposició dels elements urbans.



Figura 1. 2 Arrossegament d'un contenidor durant les pluges de maig de 2019 a Paraguai (Severe Weather Europe).

Les administracions competents han treballat durant molts anys per prevenir aquests danys i estudiar la hidrologia urbana. Inicialment, es tendia a promocionar solucions estructurals, com ara desviacions de cursos fluvials, endegaments, soterraments o canals artificials. Actualment, s'aposta per les mesures de gestió d'inundació mitjançant la realització d'estudis de risc, gestió de l'emergència, sistemes d'alerta, previsió d'avingudes, revisió dels usos del sòl dels municipis, etc. Els criteris i els mètodes han anat evolucionant, però s'ha mantingut la finalitat de mitigar els danys de les inundacions.

Els documents elaborats per a definir les estratègies d'actuació i de mesura davant episodis d'avingudes són una eina molt important per reduir els danys de les inundacions i promoure la recuperació i conservació dels espais fluvials. Aquests documents es generen a partir de l'estudi exhaustiu de la pluviometria que es dona en un territori i la capacitat del sòl de transformar-la en aigua d'escorrentiu segons les característiques físiques de cada àrea. S'estudien en detall les estructures existents en l'àmbit per tal de simular la seva resposta hidràulica i es considera l'efecte dels edificis. En zones urbanes, aquestes definicions són d'especial rellevància per la proximitat dels elements i la disposició dels carrers, atès que és l'únic espai lliure per on pot circular l'aigua. Cal esmentar que aquests documents acostumen a abastar grans extensions del territoris, proposant les mateixes metodologies de treball tant per a zones rurals com per a zones urbanes. L'avaluació del risc i la perillositat també es planteja amb els mateixos paràmetres per a zona rural i per a zona urbana, però sempre procurant ser conservador, mantenint-se del costat de la seguretat. Així i tot, les actuacions o solucions que es suggereixen són diferents segons cada cas particular i prevalen les condicions concretes d'inundació de l'àrea d'estudi.

Un condicionant important que aquests documents de gestió no tenen en compte en les zones urbanes són els elements existents en les vies. Definir detalladament els edificis, els carrers i les estructures hidràuliques ajuda a conèixer el comportament hidrodinàmic de l'aigua a les poblacions, però no es tenen en compte els contenidors, les papereres, les tanques, els fanals ni cap altre element urbà. Els vehicles són un component essencial a les ciutats, existents en el nostre dia a dia, que afecten directament en el moviment de l'aigua en avingudes. En nombroses ocasions s'ha vist com els cotxes han extremat els danys produïts en episodis d'inundació, ja sigui pels desperfectes generats en el propi vehicle, com el seu arrossegament i la interrupció del trànsit o afectacions a béns i persones (Martínez, 2016).



Figura 1. 3 Efecte d'inundació urbana a Sitges.

En el moment en el que el vehicle és portat per l'aigua, aquest passa a ser un objecte potencialment perillós, que condiciona la hidrodinàmica del seu voltant i modifica els calats i les velocitats del flux. Conèixer el seu moviment sota l'efecte de l'aigua i determinar la nova hidràulica generada és essencial per avaluar si suposa canvis en la perillositat i el risc d'inundació de les zones urbanes. L'estudi dels elements urbans i els elements flotants en cursos fluvials pot implicar una nova estratègia a tenir en compte en l'avaluació del risc d'inundació en zona urbana.

1.2 Conceptes bàsics del risc d'inundació

Per entendre els conceptes que es tractaran en el present estudi es vol fer un recull dels termes més importants que s'exposaran. La seva definició està inclosa en el Pla Especial d'emergències per inundacions, l'INUNCAT, de Protecció Civil del Departament d'Interior de la Generalitat de Catalunya.

Com s'ha vist, les *inundacions* són fenòmens recurrents en el territori català. Es defineixen com la submersió temporal de terrenys com a conseqüència d'una *avinguda* o de l'aportació inusual de cabal d'aigua superior a la que és habitual en una zona determinada. Segons les causes de les inundacions poden ser del tipus pluvial o fluvial. En les *inundacions pluvials* l'aigua de pluja satura la capacitat del terreny o de drenatge i l'aigua d'escorrentia s'acumula o circula en la superfície. Les *inundacions fluvials* es generen pel desbordament del cabal de la llera del riu, ocupant la plana d'inundació. En els episodis extrems de pluja es poden donar ambdós fenòmens alhora. Altres causes que comporten l'aparició d'inundacions poden ser episodis extrems d'onatge, terratrèmols o trencament d'obres hidràuliques.

El *període de retorn* d'una avinguda és la probabilitat que es presenti un episodi amb un cert cabal o superior en un any qualsevol, és a dir, el lapse de temps mitjà que separa dos esdeveniments de determinada magnitud. Aquesta mesura està lligada a les pluges que ocorren en un territori i, per tant, també ho estan a les inundacions que poden provocar. Les *zones inundables* venen fixades per les avingudes amb un període de retorn de 500 anys i en zona urbana es fixa per a pluges amb un període de retorn inferior a 10 anys.

El *risc* d'inundació és la probabilitat que es produeixi una inundació (associat al període de retorn d'un episodi i a la seva intensitat) combinat amb les seves possibles conseqüències per a la salut humana, el medi ambient, el patrimoni cultural, l'activitat econòmica i les infraestructures (ACA, 2018). Es pot entendre com la combinació de dos conceptes: per una banda, les característiques generals de l'esdeveniment que defineixen el seu grau de perillositat i, per una altra, la vulnerabilitat dels elements existents en un territori que es troben potencialment en condicions de risc.

$$risc = perillositat \times vulnerabilitat \quad (1.1)$$

L'avaluació de la hidràulica i la hidrologia d'un territori aporten informació per formular la *perillositat* d'un esdeveniment. Els components d'intensitat d'una inundació i la seva freqüència determinen el grau de perillositat de cada episodi. Les principals variables que contribueixen a l'estudi de la perillositat en zones urbanes són la velocitat i el calat (Martínez, 2016). Cal tenir present que la perillositat significa possibilitat de risc però no implica explícitament la seva existència.

Període de retorn del succés (anys)	Probabilitat de què el succés es produeixi 1 vegada en 1 any (%)	Probabilitat de què el succés es produeixi 1 vegada en 10 anys (%)	Probabilitat de què el succés es produeixi 1 vegada en 20 anys (%)	Probabilitat de què el succés es produeixi 1 vegada en 50 anys (%)
3	33	98	100	100
10	10	65	88	99
50	2	18	33	64
100	1	10	18	39
500	0,2	2	4	10

Figura 1. 4 Probabilitat d'ocurrència de diversos episodis en funció del número d'anys a tenir en compte (ACA, 2018).

La *vulnerabilitat* s'expressa com el grau estimat de dany o la pèrdua d'elements exposats a l'ocurrència d'un fenomen de determinada magnitud i intensitat. Depèn de les característiques dels propis elements i de la magnitud de la inundació. Es tracta d'identificar el possible impacte de les inundacions sobre els elements del territori. La vulnerabilitat d'un element té una certa subjectivitat, per la qual cosa existeixen diversos punts de vista respecte la seva definició (Martínez, 2016). Actualment, la perspectiva a la que es tendeix és la consideració de la vulnerabilitat com una funció de tres variables: exposició, susceptibilitat i resiliència.

- **Exposició:** es refereix a l'inventari dels elements presents en una zona inundable que poden ser afectats en un episodi d'avinguda. Depèn de la presència de persones, recursos, béns o infraestructures que podrien ser afectats.
- **Susceptibilitat:** és el grau d'afectació. Depèn de les pròpies característiques dels elements exposats a una inundació.
- **Resiliència:** capacitat d'adaptació davant un episodi d'inundació. Aquest factor disminueix els efectes de danys potencials.

La vulnerabilitat es podria expressar com:

$$vulnerabilitat = \frac{exposició \times susceptibilitat}{resiliència} \quad (1.2)$$

En l'anàlisi del risc es pretén definir quines són les afectacions que es poden produir en el cas d'inundacions i establir quines accions d'autoprotecció i actuació s'han de realitzar. A les conques internes de Catalunya, l'Agència Catalana de l'Aigua (en endavant ACA) ha elaborat un Pla de Gestió del Risc d'Inundació (PGRI) per tal d'establir les mesures i les accions a exercir per assolir els objectius de planificació hidrològica de la conca fluvial catalana i aconseguir reduir el risc d'inundació així com recuperar els espais fluvials. En aquest document s'hi descriuen les mesures, ja siguin del tipus estructural o de gestió del risc per reduir els danys esperats de les avingudes a partir de la informació de perillositat.

L'elaboració d'aquest document ha consistit en tres fases de treball que s'actualitzen de forma cíclica cada 6 anys:

- Fase I. Avaluació preliminar del risc d'inundació (APRI)
Determinar el risc potencial d'inundació i definir les àrees amb risc potencial significatiu d'inundació (ARPSI) segons les causes d'inundació.
- Fase II. Mapes de perill i risc d'inundació (MAPRI)
Representar les zones amb diferents nivells de probabilitat d'inundació i el tipus d'afectació potencial.
- Fase III. Pla de gestió del risc d'inundació (PGRI)
Integrar les mesures de protecció de tipus estructural o de gestió del risc per reduir els danys esperats. Són mesures concretes que tenen en compte la informació de perillositat i de risc identificades en les fases anteriors.

El primer cicle de planificació correspon al període 2009-2015 i el segon cicle al 2016-2021. La legislació actual recull totes les mesures establertes, oferint un marc d'actuació integral en el territori. Actualment, s'estan elaborant els documents del segon cicle de planificació de gestió del risc.

En l'abast del present estudi es preveu analitzar la probabilitat de risc en zona urbana d'una àrea determinada, avaluant la perillositat produïda per diferents episodis de tempesta.

1.3 Descripció de la zona d'estudi

Girona és una ciutat i municipi del nord-est de Catalunya, capital de la comarca del Gironès i de la província de Girona. Es troba a 100 km al nord de Barcelona, a 40 km del mar Mediterrani i a uns 70 km de la frontera francesa. És la ciutat més poblada del nord de Catalunya amb 100.520 habitants i ocupa una extensió aproximada de 16,25 km².

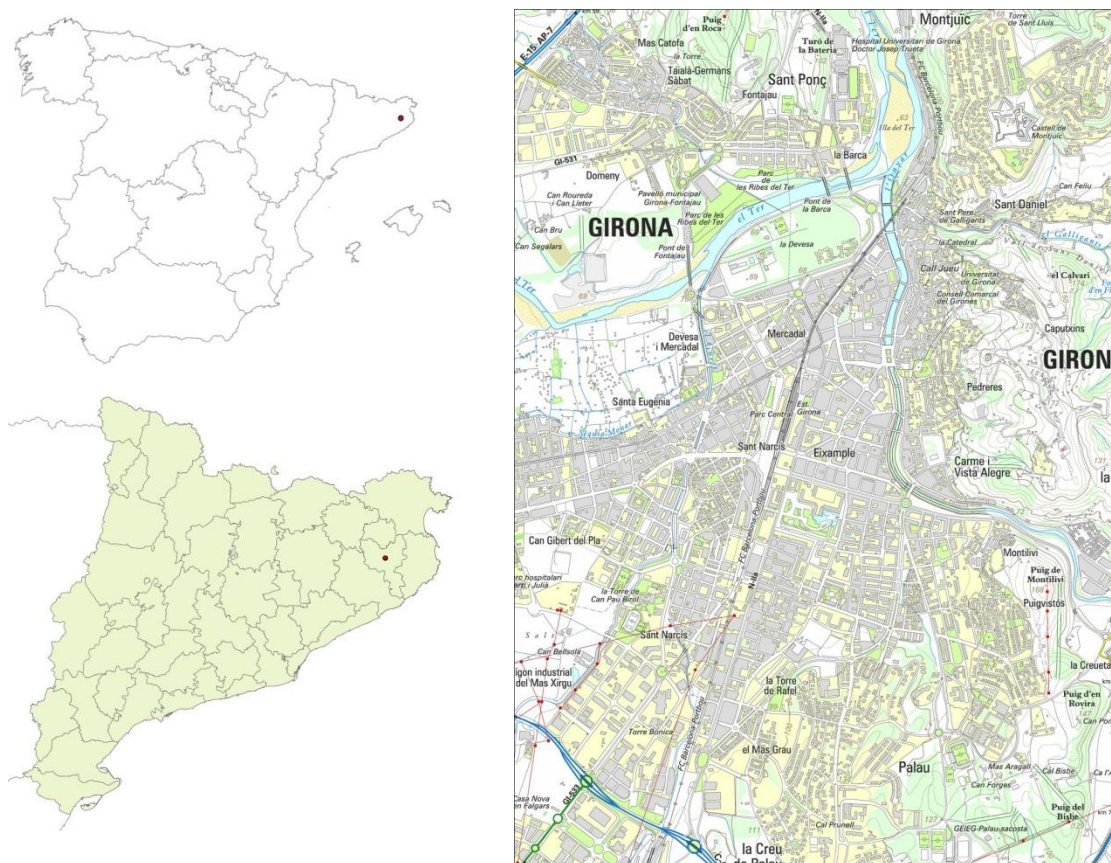


Figura 1. 5 Localització del municipi de Girona.

La ciutat de Girona està situada a una altitud de 70 m al pla de Girona a la confluència de quatre rius: l'Onyar, el Güell, el Galligants i el Ter. L'est del municipi l'ocupa una zona d'elevat valor natural i paisatgístic, conformat per la vall de Sant Daniel i el massís de les Gavarres. Aquest últim va ser declarat espai d'interès natural l'any 1992. L'orografia del terme municipal és bastant accidentada, amb contrastos d'altitud significatius i la xarxa hidrogràfica suposa una barrera física per comunicar les diferents àrees del nucli urbà de la ciutat.

La morfologia de les conques hidrogràfiques i les característiques hidràuliques dels rius confluents fomenten l'acumulació de grans cabals en els episodis de pluja que han provocat inundacions en les zones urbanes. A més, en les últimes dècades el grau d'urbanització del terme municipal s'ha incrementat notablement, fomentant l'aparició d'inundacions sobtades que poden agreujar els nivells de perillositat i els danys produïts.

1.3.1 Recull d'inundacions històriques

La recopilació d'informació referent a inundacions històriques és fonamental per al coneixement del comportament hidràulic de l'àmbit d'estudi, així com per al calibratge dels models hidrològics ja que ofereix la possibilitat d'estudiar fenòmens d'inundació que han tingut lloc en els darrers anys.

S'estudien les inundacions històriques que han afectat més greument a la zona nord-est de Catalunya, produint més desperfectes en zones urbanes i s'indiquen aquells episodis que han sigut rellevants en la història de Girona.

Amb aquest objectiu, s'ha analitzat la informació de diverses fonts documentals entre les que es destaca la base de dades d'inundacions històriques de l'ACA (BDIHACA) elaborada en el marc de l'APRI 2018. Dels episodis analitzats, destaquen els següents:

- **Inundacions del 17 d'octubre de 1940**
La nit del 17 d'octubre del 1940 les comarques gironines van viure les inundacions més espectaculars del segle XX. El Ter, el Fluvià i la Muga van assolir cabals que s'han mantingut com a rècord històric, i les precipitacions acumulades en 24 hores van ser les més elevades de que es té constància a Europa. Les pluges es van concentrar a les capçaleres dels rius i el resultat va ser de 2.400 m³/s al Ter a Torroella de Montgrí. Les precipitacions van ser d'una intensitat altíssima. Els efectes sobre el medi van ser de gran magnitud fins el punt de no haver-se produït en tot el segle unes modificacions geomorfològiques tan extenses i contundents. La quantitat de pèrdues que va comportar aquest episodi va ser terrible, tant a nivell humà com material. Van perdre la vida més de 80 persones i els danys superaven els 50 milions de pessetes.
- **Inundacions del 6, 7 i 8 de gener de 1977**
Durant els dies del 5-7 de gener de 1977 va tenir lloc un temporal de llevant a Catalunya, el qual va provocar importants aiguats al nord-est del territori. En el total de l'episodi (dies pluviomètrics 5, 6 i 7) van enregistrar-se 281,4 mm a Girona. Els forts aiguats van provocar el desbordament de nombrosos torrents i rieres del nord-est de Catalunya, així com del Daró, el Riudaura, el Ter, l'Onyar i el Masrocs. Les inundacions van causar nombrosos danys en camps de cultiu i naus industrials.
- **Aiguats del desembre de 1987**
La situació meteorològica dels primers dies de desembre es va caracteritzar per una entrada d'aire de llevant, càlid i humit que va provocar pluges generalitzades a tot el territori, però amb una major intensitat a la zona nord-oriental de Catalunya. Els valors de precipitació acumulada durant l'episodi van superar els 100 L/m² en algunes localitats. Com a conseqüència, els rius de la zona van patir crescudes, d'entre les quals destaquen els 820 m³/s del Ter a Girona.
- **Inundacions de setembre de 2005**
Un embossament d'aire fred en altura ubicat al nord-oest de Catalunya i la presència en superfície d'una àrea de baixes pressions van provocar el 7 de setembre del 2005 una sèrie de tempestes i, amb elles, un episodi de tornados i mànegues a Catalunya. A Girona, les pluges van produir inundacions de diversos comerços, baixos i soterranis.
- **Riuades 13 d'octubre 2005**
A mitjans d'octubre del 2005 un fort aiguat va descarregar a tota Catalunya, però especialment a la costa de l'Empordà, amb registres de pluja històrics. Es van produir diverses incidències. Hi van haver carreteres que es van haver de tallar perquè van quedar inundades, es van produir desprendiments de terra o caigudes d'arbres. A més, alguns col·legis van haver de suspendre les classes pel desbordament de cursos fluvials i els bombers van haver de fer nombroses sortides per atendre inundacions de baixos i soterranis.
- **Inundacions de setembre 2006**
Entre els dies 12, 13 i 14 de setembre de 2006 va caure una gran quantitat d'aigua a gairebé tot el litoral i pre-litoral català. Les pluges van caure amb força i van provocar nombroses incidències, fins i tot la paralització d'alguns serveis de trens i ferrocarrils. Es va fer necessària l'actuació dels bombers per treure aigua d'alguns baixos inundats a Girona. A més, l'acumulació d'aigua va causar problemes importants en algunes vies, arribant a provocar talls de la circulació o retencions importants.

- Inundacions d'octubre de 2010

Des del dissabte 9 fins el dimecres 13 d'octubre de 2010, va tenir lloc un episodi plujós que va afectar gairebé la totalitat del territori català. La resposta hidrològica a unes precipitacions que en molts indrets van superar els 100 mm acumulats, arribant fins i tot als 275 mm al nord-est del país, va ser variada en funció del desplaçament de les tempestes, la humitat del sòl de cada conca i la reactivació dels diferents fronts de precipitacions. Així, cal destacar el cabal assolit a l'Onyar a Girona ($50 \text{ m}^3/\text{s}$) i l'estació d'aforament del Ter a Girona que va mesurar una punta de cabal de $103 \text{ m}^3/\text{s}$. Com a conseqüència d'aquests fets, a Girona es va col·lapsar l'entrada principal al centre de la ciutat durant tres quarts d'hora, perquè els embornals no donaven l'abast i el vial va quedar inundat.



Figura 1. 6 L'Onyar a Girona en l'episodi d'octubre de 2010 (El Punt Avui).

- Inundacions del març de 2011

L'episodi de precipitacions iniciat durant el matí del dissabte 12 de març i que es va allargar fins al 16 de març va deixar grans quantitats d'aigua, superant els $100 \text{ L}/\text{m}^2$ en diverses localitats, concentrant-se les precipitacions més abundants a les comarques de Girona (conques de la Muga, Fluvià i Ter). Les pluges van provocar una crecuda considerable del cabal dels rius, destacant entre d'altres l'Onyar a Girona ($69 \text{ m}^3/\text{s}$).

- Inundacions del 29 de setembre de 2014

A finals de setembre de 2014 va tenir lloc un episodi intens de pluges que va afectar les comarques gironines i va obligar a interrompre la circulació en diversos municipis. Les dades de precipitació que es van enregistrar van superar els $130 \text{ l}/\text{m}^2$ en alguns punts, amb $123 \text{ l}/\text{m}^2$ a Girona i amb una intensitat màxima $22,7 \text{ l}/\text{m}^2$ en 30 minuts. Les fortes pluges van obligat a tallar diverses carreteres i el servei de l'AVE també va quedar interromput entre Figueres i Barcelona.



Figura 1. 7 L'Onyar a Girona en l'episodi de setembre 2014 (El Punt Avui).

- **Inundacions del 29 de novembre de 2014**
El cabal del riu Ter va fregar els 500 m³/s a Ripoll, cent vegades més que l'habitual. Al pantà de Sau va arribar una punta d'entrada d'aigua d'uns 700 m³/s. L'embassament posà en pràctica la seva funció de regular el cabal a base de laminar l'avinguda màxima perquè, tot i incrementar molt el cabal del Ter a la part baixa de la conca, el riu no arribi a desbordar-se. El cabal de sortida màxim assolit va ser de 190 m³/s. A Girona es van inundar les vies de l'AVE, causant el tall de la circulació de trens d'alta velocitat entre Barcelona i Figueres.
- **Inundacions d'octubre de 2016**
A mitjans del mes d'octubre de 2016 es va produir un episodi de pluges que va afectar les comarques de Girona i que van produir diverses incidències en poc temps. La majoria d'incidències es van concentrar a Girona ciutat, ja que la precipitació en el municipi va ser molt intensa, arribant a 25 l/m² en 30 minuts. L'actuació més destacada va ser el rescat de dues dones que van quedar atrapades dins d'un cotxe entre una esllavissada i una via de reg a la zona de Campdorà. Per una altra banda, també es van produir nombrosos talls en diverses vies de comunicació, com la N-2, l'AP-7, la C-66 i la GI-514.
- **Inundacions del 31 d'agost de 2018**
El divendres 31 d'agost es va despertar amb pluges intenses a les comarques de Barcelona i Girona. El servei de Protecció Civil de la Generalitat va advertir que les primeres hores del dia i fins a mig matí poden ser complicades. L'aigua va provocar inundacions en algunes carreteres i Protecció Civil va alertar del risc de creixement sobtat de rius i rieres del Ter. Alguns rius van desbordar com a conseqüència d'aquestes pluges, provocant inundacions a diversos municipis.
- **Inundacions de l'octubre de 2018**
Al mes d'octubre de 2018 va tenir lloc el pas de l'huracà Leslie per Catalunya, essent la comarca de Girona la demarcació que va acumular més pluja. Aquestes pluges van provocar crescudes importants en rius i rieres. A l'Alt Ter, es va passar del llinar d'alerta al de perill a Ripoll. Les conseqüències van ser cinc ferits greus en un accident i múltiples inundacions a diversos municipis.

- Inundacions del 18 de novembre de 2018
El cap de setmana del 17 i 18 de novembre va tenir lloc un fort temporal de pluges que va afectar gran part del territori català, especialment les comarques gironines. La pluja va provocar que els cabals dels rius es disparessin i es generessin crescudes importants. El riu Onyar va multiplicar per vint el seu cabal habitual, superant els 300 m³/s.

1.3.2 Inundacions en zona urbana

L'estudi que realitza A. Ribas a "Girona, ciutat fluvial" (Ribas, A., 2001) constitueix una anàlisi de la vulnerabilitat i l'adaptació de la societat gironina al risc d'inundació des d'una perspectiva historicogeogràfica. Aquest treball recull les modificacions urbanístiques més rellevants de la ciutat front les inundacions que ha patit al llarg de la seva història.

L'A. Ribas indica que hi ha un procés d'integració urbana dels rius Onyar, Galligans i Güell. En aquesta evolució s'aconsegueix trencar amb l'asimetria de les ribes del riu Onyar que suposaven diferències espacials (la riba dreta es va ocupar abans) i diferències funcionals (una riba contenia activitats més pròsperes que l'altra) per desenvolupar el creixement de la ciutat cap al pla de Girona.

Des del segle XIV el marge dret de l'Onyar és un dels més exposats a les avingudes de l'Onyar. Posteriorment, al segle XIX la zona del barri de Mercadal constitueix un dels espais més amenaçats per les crescudes del Ter i l'Onyar per l'alliberament del sòl urbà amb les desamortitzacions dels convents que hi estaven emplaçats. Entre el 1950 i el 2000 Girona creix desorbitadament tant demogràficament com urbanística. A l'octubre de 1970 s'enregistra una important avinguda de l'Onyar a Girona que va motivar les obres d'endegament fins a la seva desembocadura al Ter (Martín Vide et al. 2004). Es destaca la construcció de la plataforma de la plaça de Catalunya, considerada com un dels errors més greus en relació a les inundacions de l'Onyar (Ribas, A., 2001). La seva insuficient capacitat de desguàs i la disposició dels pilars provoquen un augment del risc d'avinguda en comptes de reduir-lo.

S'enregistren també nombroses inundacions a la zona de confluència dels rius, és a dir a la zona baixa de la ciutat, que coincideix amb el parc de la Devesa, al nord de la zona urbana de la ciutat. Aquest parc ha sofert des dels seus orígens l'efecte de les avingudes de l'Onyar i sobretot del Ter. Tot i que les actuacions de plantacions d'arbres de les zones verdes mitiguin els danys i serveixin com a mesura de protecció de la inundació de la zona urbana, és un espai on recurrentment s'hi acumula l'aigua.

Tanmateix, sol ser l'Onyar i no el Ter el que inunda Girona. Això és degut a que el Ter disposa d'un sistema d'embassaments que regula l'avinguda del Ter (Martín Vide et al. 2004). Els embassaments que formen aquest sistema són, des d'aigua amunt cap aigua avall, l'embassament de Sau (177 Hm³), l'embassament de Susqueda (215 Hm³) i l'embassament de Pasteral (2 Hm³). El control que s'aconsegueix de les crescudes del Ter amb aquest sistema de preses evita la inundació de les zones urbanes que es troben aigua avall. Per això, en el moment en el que el cabal punta del Ter d'un episodi de tempesta important arriba a la ciutat de Girona, aquest està molt laminat afectant el mínim a les zones urbanes.

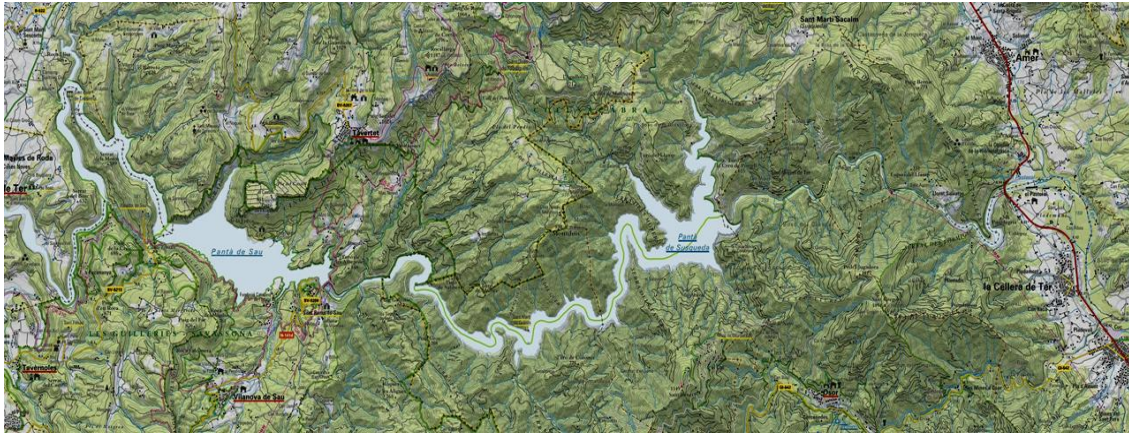


Figura 1. 8 Sistema d'embassaments de Sau, Susqueda i Pasteral.

L'Onyar, en canvi, no disposa de cap mena de regulació, ni preses ni basses de laminació aigües amunt de la ciutat de Girona que puguin mitigar els cabals punta en avingudes grans. L'única estructura que suposa un cert control del riu és l'endegament que s'inicia amb les primeres edificacions de la zona sud-est del municipi i finalitza a la confluència amb el Ter creuant tota la ciutat fins a la zona nord.

1.3.3 Estructura urbana

Girona és el centre urbà més important de la zona nord de Catalunya, constituint un fort centre d'activitat comercial i laboral. A partir de l'anàlisi del Pla de Mobilitat Urbana de Girona, s'han pogut extreure les dades més rellevants de les diferents àrees de la ciutat.

El municipi es divideix en nou barris, que al seu temps es divideixen en sectors:

- Centre: Barri Vell, Mercadal i Carme.
- Montjuïc.
- Est: Sant Daniel, Torre Gironella, Pedreres, Font de la Pólvora, Vila-roja i l'espai natural de les Gavarres.
- Eixample: Sant Narcís, Eixample Nord i Eixample Sud.
- Nord: Pedret, Pont Major, Muntanya de Campdorà i Pla de Campdorà.
- Oest: Sant Ponç, Fontajau, Taialà, Germans Sàbat i Domeny.
- Santa Eugènia: les Hortes, Santa Eugènia, Can Gibert del Pla.
- Mas Xirgu: polígon industrial de Mas Xirgu.
- Sud: Palau, Avellaneda, Montilivi i la Creueta.

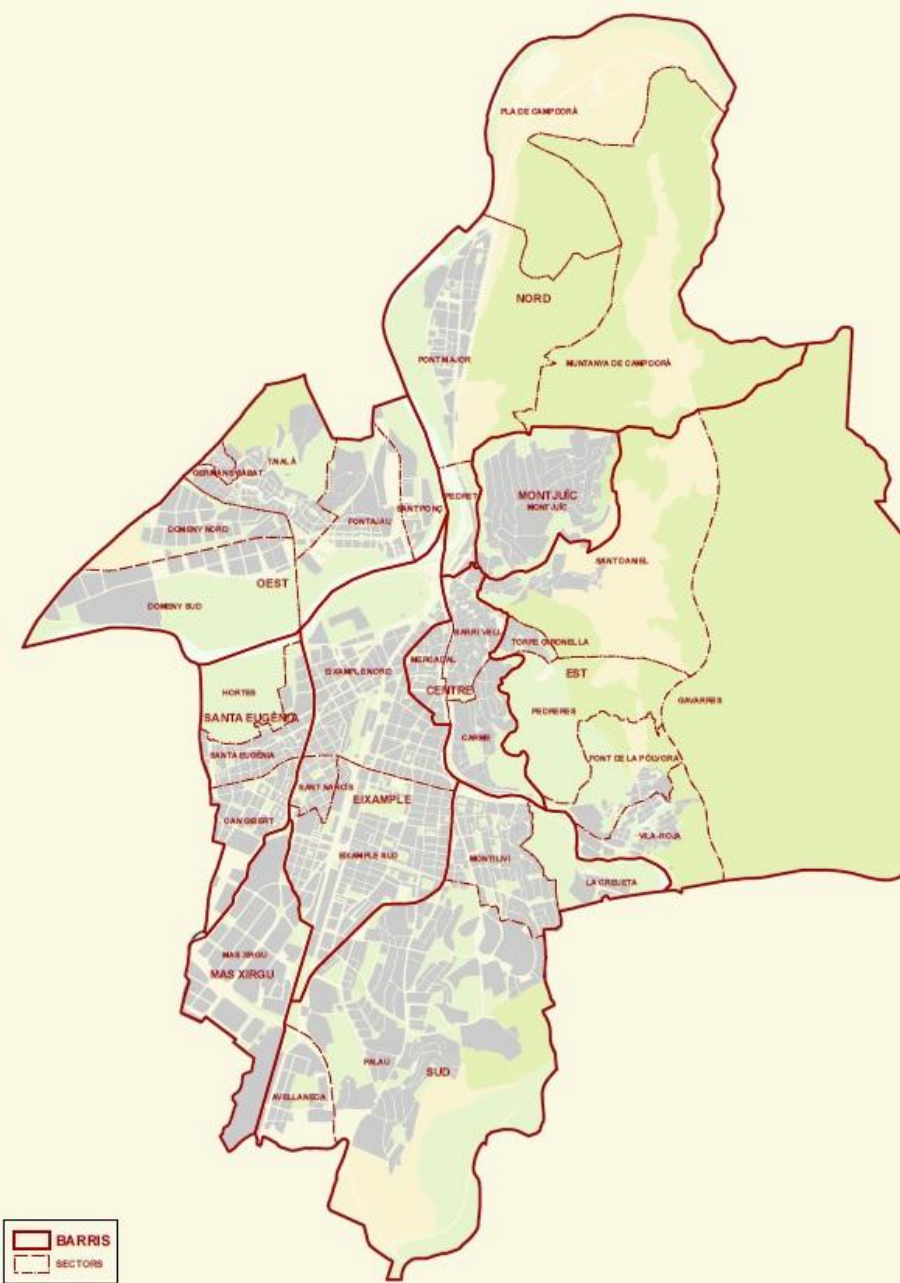


Figura 1. 9 Organització urbana de Girona en barris i sectors (Ajuntament Girona)

El barri de l'Eixample és el que concentra més població gironina amb el 43% dels habitants. El segueixen el barri de Santa Eugènia (17%), el del Sud (10%), el Centre i l'Oest (ambdós 9%). Si es té en compte la densitat de població, els sectors de l'Eixample Nord i Sud, Mercadal, Can Gibert del Pla i Germans Sàbat superen els 12.000 hab/km² i el sector de Santa Eugènia arriba fins als 22.300 hab/km².

Els principals equipaments de Girona es concentren al barri del Centre i a l'Eixample amb 101 i 131 espais, respectivament. Els equipaments que s'hi emplacen són de caire administratiu, educatiu, cultural, social, sanitari, esportiu, religiós, relatius al transport i altres serveis fora de les anteriors categories. Cal destacar que l'Eixample conté la major part dels equipaments administratius i educatius de la ciutat mentre que el Centre té el major nombre d'equipaments culturals.

Respecte a l'activitat econòmica i comercial del municipi, a l'abril de 2010 el Departament de Comerç de la Generalitat de Catalunya va fer un estudi dels sectors del Barri Vell, Mercadal i Eixample Nord, anomenat l'*Eix Comercial de Girona*. S'hi analitzen els eixos comercials principals del centre de la ciutat identificant els carrers amb més intensitat comercial: Rambla Llibertat i carrer Argenteria al Barri Vell i plaça Ultònia, plaça Calvet i Rubalcava i plaça Catalunya a Mercadal.

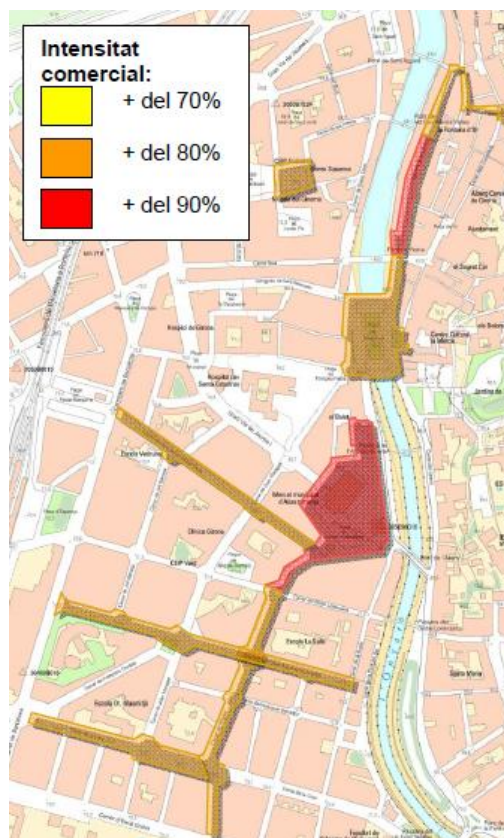


Figura 1. 10 Intensitat comercial al centre de Girona (Ajuntament Girona, 2014).

Un cop es coneixen els principals barris i sectors on hi ha més concentració d'activitats de la ciutat de Girona és fàcil veure que en aquests punts es generarà més moviment de persones, tant ciutadans locals com d'altres municipis o, fins i tot, vianants amb objectius turístics. Per fomentar aquests moviments i donada la morfologia dels carrers del Barri Vell i Mercadal, l'administració ha pacificat molts carrers. D'aquesta manera s'ha aconseguit facilitar l'accés als vianants i dotar al centre d'una comoditat local així com fomentar el comerç de proximitat i alliberar els carrers dels vehicles rodats.

Per poder ubicar els vehicles a la ciutat i executar la simulació del transport de vehicles en episodis d'inundació urbana s'ha realitzat un estudi de l'oferta d'aparcament dels diferents barris de Girona. El Pla de Mobilitat Urbana descriu les zones d'oferta de places d'aparcament en calçada (ja siguin regulades –zona blava, reserves, etc.- o no regulades –estacionament gratuït sense limitació-) o places fora de calçada (considerades només les d'ús públic en aparcaments en superfície). Es destaca que les zones amb menys densitat de places de l'oferta no regulada per quilòmetre de xarxa són el Barri Vell, Carme i l'Eixample Nord, fent palès la pacificació dels carrers i la recuperació de la superfície urbana per part dels vianants, així com l'aprofitament de l'espai urbà per fer un control mitjançant diverses formes de pagament. Tanmateix, si s'analitza l'oferta total de places d'aparcament, la densitat més elevada es registra en els sectors de Mercadal i Eixample Nord.

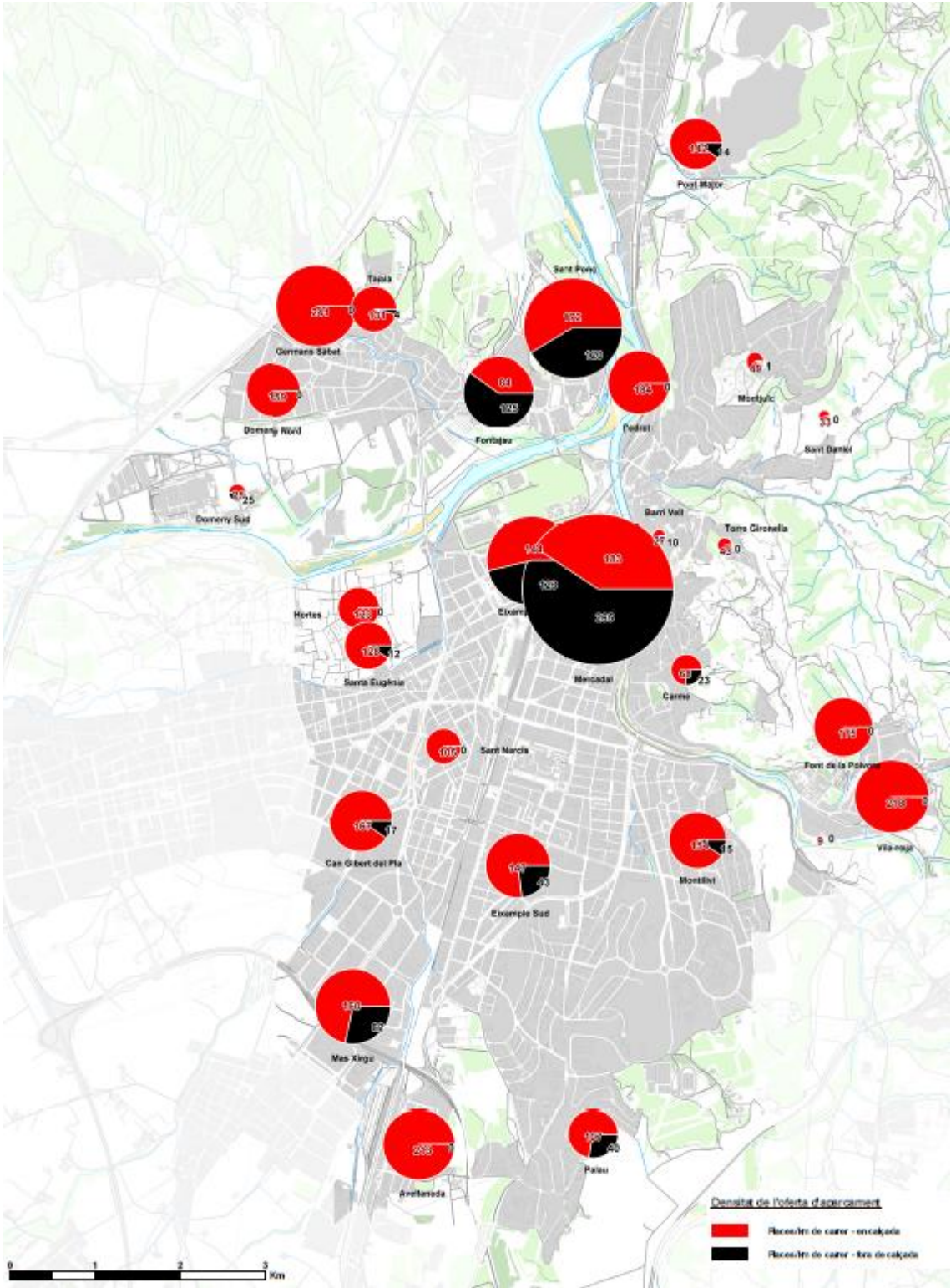


Figura 1. 11 Densitat de l'oferta d'aparcament de Girona (Ajuntament Girona, 2014).

1.3.4 Justificació de l'àmbit d'estudi

Un cop s'ha fet l'anàlisi preliminar de Girona de la hidrologia de l'àmbit, estudiant les afectacions d'inundació que s'han enregistrat a la ciutat i coneixent l'estructura urbana i el moviment dels habitants, s'ha establert una zona prou significativa per a fer l'estudi dels flotants en episodis d'avingudes. Els principals factors que han determinat l'àmbit d'estudi són:

- Zona urbana que sigui susceptible de ser inundada.
- Proximitat a l'endegament de l'Onyar, donat que s'ha justificat la seva afectació a la zona urbana respecte a altres cursos fluvials.
- Insuficient capacitat de desguàs d'estructures per afavorir el desbordament del riu.
- Proximitat a zona comercial i zones amb més possibilitat d'afectació sobre població.
- Zones amb grau elevat de vulnerabilitat, concentració d'equipaments i persones.
- Existència de vehicle rodat, zones d'aparcament o zones de càrrega i descàrrega.

Amb els criteris establerts, s'ha decidit estudiar l'àmbit que comprèn el sector de Mercadal i part del Barri Vell i del Carme. Aquest àmbit inclou el soterrament de la plaça de Catalunya per verificar la seva capacitat de desguàs i analitzar el seu comportament en episodis d'avingudes.



Figura 1. 12 Àmbit d'estudi.

1.4 Objectius

L'objectiu principal del present treball es centra en estudiar l'efecte dels elements flotants i avaluar el seu impacte sobre la perillositat en els episodis d'avingudes en zones urbanes. Es pretén caracteritzar els flotants de les vies públiques urbanes com els cotxes existents a la ciutat i estudiar el seu comportament davant les inundacions que puguin tenir lloc en el municipi de Girona. La intenció és analitzar si és rellevant la inclusió dels flotants en els estudis d'inundabilitat de zones urbanes i oferir una eina de càlcul per contemplar aquests condicionants.

Aquest objectiu principal es planteja a través de tres objectius secundaris que es llisten a continuació:

- És essencial **determinar el moviment i el transport dels vehicles** generat per l'acció de l'aigua, conèixer els criteris de moviment i la seva estabilitat front a inundacions fluvials. Actualment, no es disposa de cap programa de càlcul que simuli el transport de vehicles en cursos fluvials, per això serà necessari **desenvolupar un software adequat** capaç de traslladar els cotxes tenint en compte les característiques físiques de la zona urbana, les geometries de diferents tipus de vehicles i l'efecte de la riuada reproduïda.
- S'estudiarà exhaustivament la zona d'estudi per definir en detall la seva hidrologia i les pluges de projecte amb les que es generaran les inundacions així com precisar el més fidedignement possible la geometria de l'àrea a la realitat. A partir de la revisió de la informació disponible, s'haurà de **crear el model hidràulic** amb la inclusió de tots els condicionants que interfereixen al flux de l'aigua per analitzar el seu comportament.
- S'avaluaran els resultats obtinguts del model hidràulic en termes de perillositat per a diversos escenaris d'avingudes. L'objectiu és **comparar l'efecte de la inundació** a l'àmbit d'estudi tant amb l'existència de vehicles com sense aquests, per valorar el grau d'alteració segons les diferents situacions.

A partir dels següents apartats es pretén donar resposta a totes aquestes finalitats per poder-les assolir satisfactòriament.

2. MODEL BIDIMENSIONAL DE LA DINÀMICA FLUVIAL

2.1 Anàlisis bidimensional de hidrodinàmica

L'estudi del comportament dels rius i la propagació d'avingudes és un tema que s'ha desenvolupat molt en les últimes dècades. La necessitat de preveure la dinàmica fluvial d'un flux i conèixer la seva possible afectació a zones poblades ha comportat l'aparició d'una ampla varietat d'eines per a la resolució del flux d'aigua en làmina lliure en dues dimensions (Bladé et al., 2014). Per a l'estudi de l'efecte dels flotants en la inundació d'una zona urbana s'ha fet ús de l'eina de simulació Iber.

Iber és una eina d'anàlisi numèrica bidimensional per a càlculs de flux inestable i de flux turbulent en superfície lliure (Ruiz-Villanueva et al., 2014a) desenvolupat pel Centre Internacional de Mètodes Numèrics en Enginyeria (CIMNE), el Grupo de Enxeñaría da Auga e do Medio Ambiente (GEAMA) de la Universidade da Coruña i l'Institut Flumen de la Universitat Politècnica de Catalunya. Des de la seva aparició al públic, el software s'ha anat millorant i s'han anat ampliant els mòduls de càlcul segons els interessos i les necessitats dels usuaris. Actualment, Iber disposa de sis mòduls diferents amb les seves funcions corresponents:

1. Mòdul hidrodinàmic:
Resol les equacions bidimensionals d'aigües someres en profunditat o de Saint Venant. S'assumeixen les hipòtesis de distribució de la pressió hidrostàtica i velocitat uniforme respecte la profunditat de l'aigua.
2. Mòdul turbulent:
Permet incloure els esforços turbulents en els càlculs hidrodinàmics i conté diferents models de turbulència basats en l'aproximació de la viscositat turbulenta de Bousineq (viscositat turbulenta constant, model parabòlic, model de longitud de mescla i model k- ϵ).
3. Mòdul de transport de sediments:
Resol l'equació bidimensional d'Exner per calcular l'evolució de l'elevació de la llera causada pels fenòmens de sedimentació i erosió.
4. Mòdul de qualitat de l'aigua:
Calcula l'evolució temporal i espacial de diferents components, resolent una equació bidimensional de transport per a cada espècie que inclou transformacions bioquímiques per a simular la interacció entre elles.
5. Mòdul de processos hidrològics:
Inclou algunes característiques per al càlcul de la formació de l'escorrentia pluvial, funcionant com un model hidrològic distribuït basat en equacions bidimensionals d'aigües someres.
6. Mòdul Habitat:
S'han afegit eines específiques per a l'ús de l'ecohidràulica. Permet prendre decisions respecte a la gestió dels recursos hídrics en termes ecològics i biològics.

Iber utilitza el mètode de volums finits (FVM) per a resoldre les equacions bidimensionals en aigües someres tant en el mòdul hidrodinàmic com en el mòdul turbulent i de transport de sediments. Aquest esquema numèric és apropiat per a la modelització de canvis de règim i d'estats sec-mullat, és a dir, del front d'inundació (Bladé et al., 2014).

Per a discretitzar el flux entre els elements, Iber utilitza l'esquema descentrat de Roe amb una extensió d'alta resolució de segon ordre i amb limitador de pendent per evitar oscil·lacions en regions amb màxims o mínims locals (Cea et al., 2009). L'ús de l'esquema descentrat és

necessari per a tenir en compte la velocitat i la direcció de propagació del flux a través dels elements. El fet que sigui de segon ordre millora la precisió d'interpolació del flux entre dos elements, ja que considera la informació de diversos nodes aigua amunt i té en compte la direcció de propagació de les pertorbacions (Flumen Institut, 2018).

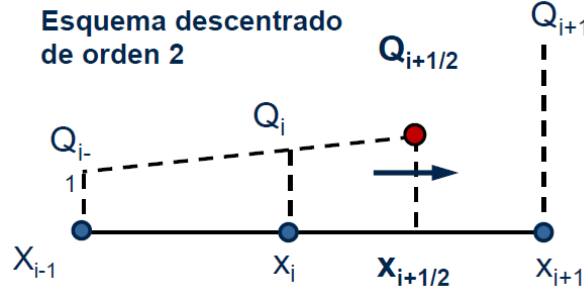


Figura 2. 1 Esquema descentrat de segon ordre (Flumen Institute, 2018).

Els càlculs es realitzen en malles no estructurades d'elements triangulars o quadrilàters, amb esquemes de temps explícit i subjectes a la condició de Courant, és a dir, amb Δt limitat.

2.2 Equacions del model numèric

El mòdul hidrodinàmic resol les equacions bidimensional de Saint Venant següents:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h U_x}{\partial x} + \frac{\partial h U_y}{\partial y} = 0 \quad (2.1)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t}(h U_x) + \frac{\partial}{\partial x} \left(h U_x^2 + g \frac{h^2}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} (h U_x U_y) \\ &= -gh \frac{\partial Z_b}{\partial x} + \frac{\tau_{s,x}}{\rho} - \frac{\tau_{b,x}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_t h \frac{\partial U_x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_t h \frac{\partial U_x}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t}(h U_y) + \frac{\partial}{\partial x} (h U_x U_y) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h U_y^2 + g \frac{h^2}{2} \right) \\ &= -gh \frac{\partial Z_b}{\partial y} + \frac{\tau_{s,y}}{\rho} - \frac{\tau_{b,y}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_t h \frac{\partial U_y}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_t h \frac{\partial U_y}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (2.3)$$

On, h , és el calat; U_x , U_y , són les velocitats horitzontals mitjanes en profunditat; g , és l'acceleració de la gravetat; ρ , és la densitat de l'aigua; Z_b , és la cota del fons; τ_s , és la fricció a la superfície lliure deguda a l'acció del vent; τ_b , és la fricció que es produeix amb el fons; ν_t , és la viscositat turbulenta.

La fricció que realitza el vent sobre la superfície lliure es calcula amb l'equació de Van Dorn mitjançant la velocitat del vent a 10 m d'alçada i un coeficient d'arrossegament.

$$\tau_{s,x} = \rho C_{vd} |v_{10}| v_{x,10} \quad (2.4)$$

On, $v_{x,10}$, és la component en direcció x de la velocitat del vent a 10 m d'alçada, l'expressió és vàlida per a la direcció y amb la corresponent component de la velocitat del vent; $|v_{10}|$, és el mòdul de la velocitat del vent a 10 m d'alçada; C_{vd} , és el coeficient d'arrossegament superficial, calculat segons:

$$|v_{10}| < 5,6 \frac{m}{s} C_{vd} = 1,2 \cdot 10^{-6} \quad (2.5)$$

$$|v_{10}| \geq 5,6 \frac{m}{s} C_{vd} = 1,2 \cdot 10^{-6} + 2,25 \cdot 10^{-6} \left(1 - \frac{5,6}{|v_{10}|}\right)^2 \quad (2.6)$$

La fricció de fons s'avalua mitjançant la fórmula de Manning i està relacionada amb la velocitat de fricció i aquesta amb la velocitat mitjana en profunditat:

$$\tau_{b,x} = \rho g h \frac{n^2 U_x |U|^2}{h^{4/3}} \quad (2.7)$$

On, n , és el coeficient de Manning; U_x , és la velocitat de fricció en la direcció x , l'expressió és vàlida per a la direcció y amb la corresponent component de la velocitat de fricció; $|U|$, és la velocitat mitjana en profunditat.

La viscositat turbulenta ν_t dependrà del model turbulent de càlcul. Cada model de turbulència té una definició específica per a la viscositat turbulenta (Bladé et al. 2014).

2.3 Condicions de contorn

Es distingeixen dos tipus de contorn a Iber: contorns tancats i contorns oberts.

Els contorn tancats són els que es consideren com a parets, límits verticals en els que s'hi poden considerar condicions de fricció o de lliscament lliure.

Els contorns oberts representen les entrades i sortides d'aigua del model. En funció del règim hidràulic existent al contorn es proposen diferents alternatives.

Pel que fa a les entrades, la introducció d'un hidrograma d'entrada d'aigua en contorn es realitza proporcionalment al calat en cada punt del contorn segons:

$$q_n = C h^{5/3} \quad (2.8)$$

On, C , és una constant que garanteix que la integral del cabal unitari q_n en el contorn és igual al cabal total d'entrada.

Respecte a les sortides, és necessari indicar el nivell de la làmina de l'aigua si el règim és subcrític mentre que si el règim és supercrític no és necessari indicar el calat o nivell d'aigua.

2.4 Condicions internes

Les condicions internes s'utilitzen per definir les estructures hidràuliques que interfereixen en el pas lliure de l'aigua. Iber permet introduir tot tipus d'estructures, com per exemple ponts, comportes, cobertes o tubs. A les proximitats d'aquestes estructures no es compleixen les hipòtesis de les equacions de Saint Venant i, per tant, es realitzen uns càlculs diferents.

En aquests punts es calcula la relació entre el cabal i la pèrdua de càrrega de l'aigua a través de les estructures a partir d'equacions de descàrrega específiques. Les dues condicions que es consideren són de flux sota comporta o bé sobre vessador. Si el flux és a través d'una estructura inundada es considera com una combinació d'ambdues condicions (Bladé et al. 2014).

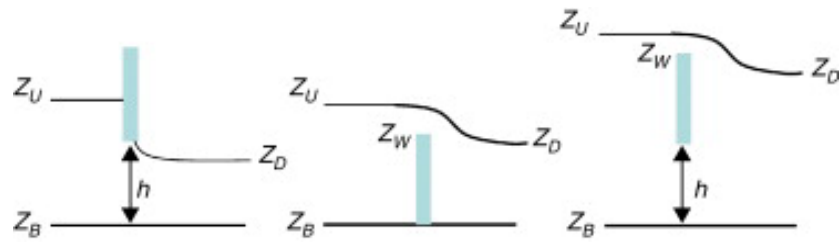


Figura 2. 2 Esquema de les variables usades en les condicions internes. Comporta sense vessador (esquerra), vessador sense comporta (centre), combinació comporta-vessador (dreta) (Bladé et al., 2014).

2.5 Mòdul IberWood

La versió 2.5 d'Iber presentada al públic el gener de 2019 conté un nou mòdul accessible únicament des de la línia de comandament. Aquest mòdul s'anomena IberWood i tracta principalment del transport de fusta en un flux d'aigua.

Estudis realitzats les últimes dècades han demostrat que la presència de material llenyós té una influència significativa als ecosistemes fluvials i condicionen i modifiquen la seva morfologia i dinàmica. El seu transport en inundacions pot incrementar el nivell de perillositats dels episodis, per la qual cosa és necessari el seu anàlisi i gestió (Ruiz-Villanueva et al., 2015).

El mòdul de transport de fusta permet la introducció de peces de fusta (troncs) mitjançant una discretització Lagrangiana. El mètode utilitza les variables de flux calculades en el mòdul hidrodinàmic per actualitzar la posició i la velocitat dels troncs de fusta en cada pas de temps (Ruiz-Villanueva et al., 2014a).

Les simplificacions més importants del model és que considera els troncs com elements cilíndrics sense variació de diàmetre o forma (Ruiz-Villanueva et al., 2014a). El model fa una bona aproximació de peces de fusta amb aquestes condicions però si els elements tenen formes més complexes no ho pot arribar a representar correctament.

2.5.1 Equacions de govern

Tal i com defineixen Ruiz-Villanueva et al. a "Two-dimensional numerical modeling of wood transport" (Ruiz-Villanueva et al., 2014a), les equacions de govern consisteixen en el balanç de forces en la direcció del flux que actuen sobre una peça de fusta situada a la corrent de l'aigua.

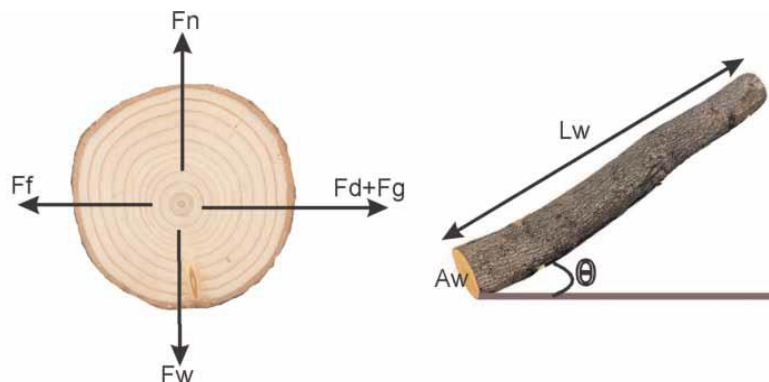


Figura 2. 3 Esquema i diagrama del balanç de forces de els components actuant sobre un element cilíndric de fusta (Ruiz-Villanueva et al., 2014a).

La força gravitacional, F_g , que actua sobre el tronc es correspon amb el pes efectiu del tronc, F_w , en la direcció d'aigües avall.

$$F_g = F_w \cdot \sin \alpha = (g \cdot \rho_w \cdot L_w \cdot A_w - g \cdot \rho \cdot L_w \cdot A_{sub}) \sin \alpha \quad (2.9)$$

On, L_w , és la longitud del tronc; ρ_w , és la densitat de la fusta; ρ , la densitat de l'aigua; α , és l'angle de la llera en la direcció del flux; A_w , és l'àrea del tronc perpendicular a la seva longitud; A_{sub} , és l'àrea submergida de A_w .

$$A_w = \pi \frac{D_w^2}{4} \quad (2.10)$$

$$A_{sub} = \left[2 \cdot \cos^{-1} \left(1 - \frac{2y}{D_w} \right) - \sin \left(2 \cdot \cos^{-1} \left(1 - \frac{2y}{D_w} \right) \right) \right] \frac{D_w^2}{8} \quad (2.11)$$

$$A' = A_{sub} \cdot \cos \theta + y \cdot L_w \cdot \sin \theta \quad (2.12)$$

Essent, D_w , el diàmetre del tronc; y , el calat; A' , l'àrea del tronc projectada; θ , l'angle que forma el tronc amb el flux.

La força de fricció, F_f , actua contra la direcció del flux i és igual a la força normal pel coeficient de fricció entre la fusta i la llera.

$$F_f = F_n \cdot \mu_{bed} = F_w \cdot \cos \alpha \cdot \mu_{bed} \quad (2.13)$$

La força d'arrossegament, F_d , en la direcció del flux és l'arrossegament aigües avall que es realitza sobre el tronc.

$$F_d = -\frac{1}{2} (U - U_{log})^2 \cdot \rho \cdot C_d \cdot A' \quad (2.14)$$

On, U , és la velocitat de l'aigua; U_{log} , és la component de la velocitat del tronc en la direcció del flux; C_d , és el coeficient d'arrossegament.

El coeficient d'arrossegament és un paràmetre molt important per al càlcul de la velocitat del tronc. Pot variar en funció de la forma de l'element, la seva posició i el número de Reynolds. És d'especial rellevància escollir un coeficient adient per al tipus d'element a estudiar ja sigui un valor constant o variable.

A partir de les expressions anteriors, s'obté l'equació de balanç per a un element cilíndric que es troba a la llera del curs fluvial.

$$F_f = F_d + F_g \quad (2.15)$$

Segons el règim de transport i a partir de les equacions del moviment descrites es poden definir els mecanismes de transport en funció de la relació entre la densitat de l'aigua i de la fusta i la relació entre l'altura de l'aigua i el diàmetre del tronc.

A continuació, es pot veure els diferents mecanismes de transport del tronc en el que els escenaris A, B i D corresponent a un comportament lliscant o rodant, mentre que en l'escenari C presenta l'element en flotació.

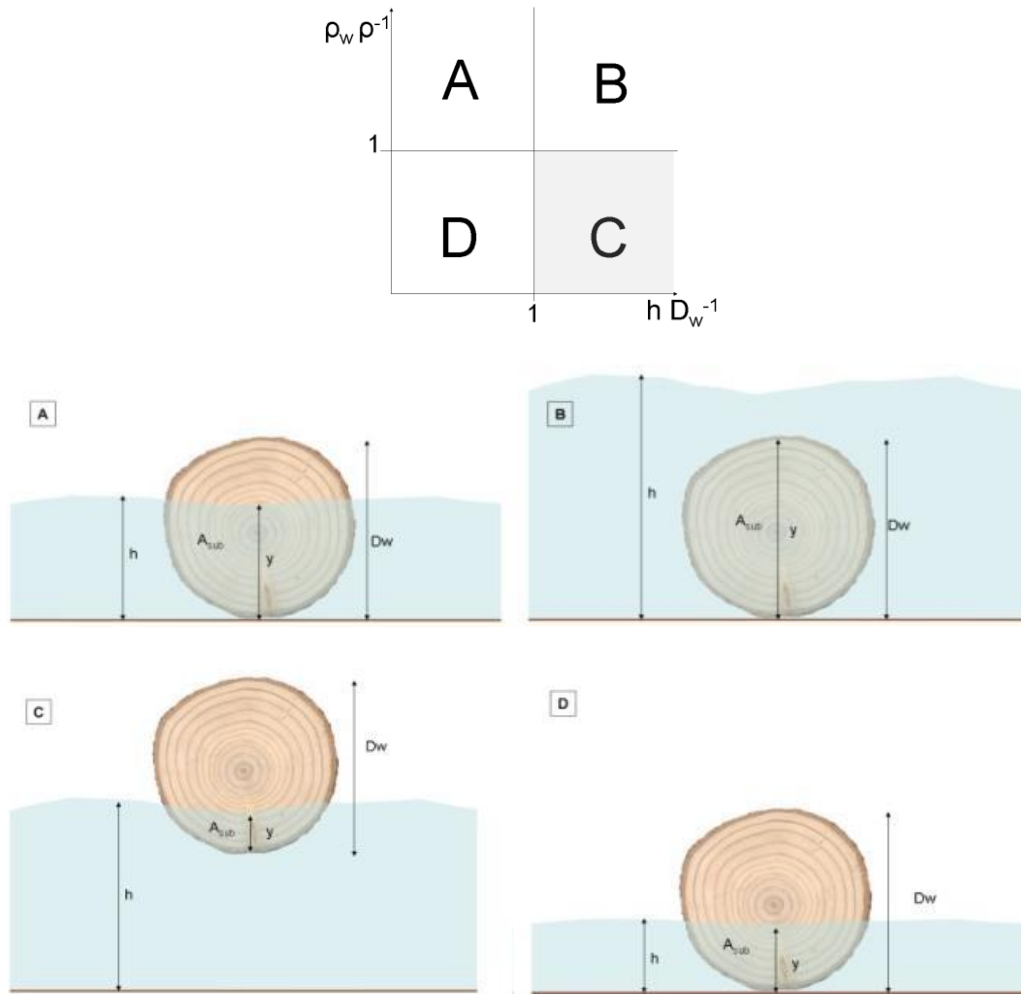


Figura 2. 4 Mecanismes de transport d'elements cilíndrics de fusta (Bladé et al., 2016).

2.5.2 Aproximació dinàmica o cinemàtica

Com s'ha vist, el moviment d'un tronc és totalment dinàmic. Es basa en el balanç de forces actuant sobre el centre de masses de l'element per determinar el seu mode de transport. Tanmateix, la velocitat del tronc es pot simular amb dues aproximacions diferents: cinemàtica i dinàmica (Bladé et al., 2016).

L'aproximació cinemàtica utilitza la densitat del tronc, el diàmetre i l'alçada de l'aigua per definir el mode de transport. Si l'element flota, la velocitat del tronc és la mateixa que la de l'aigua sempre que no hi hagi turbulències incloses en el càlcul. Si l'element llisca o roda sobre la llera, la velocitat de l'aigua i la del tronc són diferents.

En canvi, l'aproximació dinàmica usa les equacions que descriuen el moviment del sòlid rígid per determinar la velocitat de l'element en cada pas de temps. Els càlculs són més precisos que l'aproximació cinemàtica però més complexos i en aquest cas, el coeficient d'arrossegament, C_d , té una major influència per als càlculs i, per això, és important definir-lo adequadament.

2.5.3 Rotacions i interaccions

El moviment d'un element es defineix a partir de tres punts: el centre de l'element i cadascun dels dos extrems. Els canvis en l'orientació del tronc i les interaccions que pugui tenir amb altres elements de fusta o bé amb elements de l'entorn, com per exemple parets, estan subjectes

a la posició i la velocitat del tronc i l'aigua en aquests tres punts. En funció de la definició de la mida de malla un tronc pot estar en un únic element de malla (volum finit) o bé en diversos.

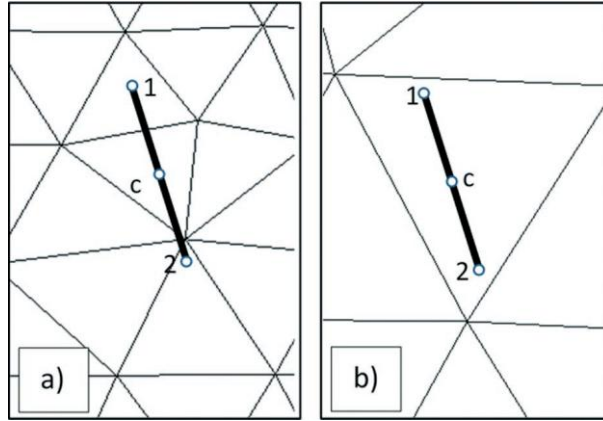


Figura 2. 5 Definició d'element fusta. Tronc creuant diversos elements de malla (esquerra) i tronc inclòs en un únic element de malla (dreta) (Bladé et al., 2016).

La posició d'un tronc en un instant de temps depèn de la velocitat i la posició del punt central en el pas de temps anterior, mentre que la rotació que pot experimentar depèn dels punts extrems. Per calcular la velocitat del tronc en cada extrem es té en compte la velocitat de l'aigua en l'element de malla de l'extrem i es relaciona amb la velocitat del centre del tronc. D'aquesta manera es fa una interpolació entre ambdós elements i les velocitats del flux en cadascun d'ells.

$$v_i^{1,2} = v_i + \frac{\partial v_i}{\partial x_j} (x_j^{1,2} - x_j) \quad (2.16)$$

On, $v^{1,2}$, és la velocitat del flux a cada extrem (1 o 2), $v^{1,2} = (v_1, v_2)^{1,2}$; v , és la velocitat del flux al centre del tronc; $x^{1,2}$; és la posició dels extrems del tronc, $x^{1,2} = (x_1^{1,2}, x_2^{1,2})$.

És possible obtenir la nova orientació del tronc, θ' , per cada pas de temps a partir de les velocitats als extrems.

$$\theta' = \tan^{-1} \left(\frac{x_2'^2 - x_2'^1}{x_1'^2 - x_1'^1} \right) \quad (2.17)$$

$$x^{1,2} = x^{1,2} + \Delta t \cdot v^{1,2} \quad (2.18)$$

La interacció d'un tronc amb un altre element de fusta o una paret s'ha considerat en el model com un canvi de velocitat del tronc pel propi contacte.

Es pot donar el cas que el tronc col·lisió amb un altre tronc i tots dos es moguin solidàriament o bé es separin i continuïn movent-se a velocitats diferents. La velocitat final del tronc dependrà de la seva velocitat inicial i de la velocitat del tronc amb el que col·lisiona.

$$(v'_{log})^i = (1 + e) \cdot (v_{log})^{cm} - e \cdot (v_{log})^i \quad (2.19)$$

$$(v_{log})^{cm} = \frac{m_i \cdot (v_{log})^i + m_j \cdot (v_{log})^j}{m_i + m_j} \quad (2.20)$$

On, $(v'_{log})^i$, és la velocitat final del tronc i ; $(v_{log})^{ij}$, és la velocitat inicial del tronc i i j ; $(v_{log})^{cm}$, es la velocitat del centre de masses dels troncs que han col·lisionat; e , és el coeficient de restitució; m_i i m_j , són les masses de cadascun dels troncs.

En el cas que el tronc col·lisióni amb una paret, poden donar-se dues situacions. Per una banda, pot ser que el tronc es quedi atrapat si part de l'element queda a la zona seca del domini. En aquest cas, les forces de transport es redueixen donada la reducció de l'àrea submergida. Per una altra banda, el tronc pot lliscar sobre la paret o rebotar. Aquestes dues respostes dependran de l'angle d'incidència entre el tronc i la paret. Si l'angle d'incidència és menor que un valor donat σ_s (en general σ_s es pot considerar de 45°), el tronc lliscarà, mentre que si és major, rebotarà.

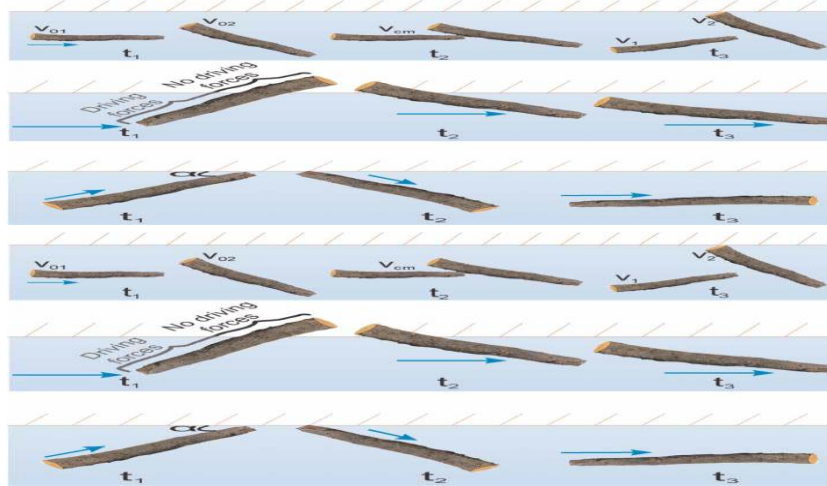


Figura 2. 6 Col·lisió de dos troncs (dalt) i interacció de tronc amb paret (baix) (Ruiz-Villanueva et al., 2014a).

Aquest comportament és més complex en els rius reals. Per això, en el model de càlcul, és necessari realitzar comprovacions en cada pas de temps per detectar la posició dels troncs i les interaccions que tenen lloc. Si en aquestes comprovacions s'observa que un tronc es troba fora del domini bidimensional, l'angle d'incidència amb la paret s'utilitza per recalculer i corregir la posició del tronc. Si l'angle és major que σ_s es realitza una translació del tronc fins al límit de la paret; si és menor, es fa una rotació del tronc sobre l'extrem que queda dins el domini fins a que l'extrem que quedava fora coincideix amb el límit de la paret.

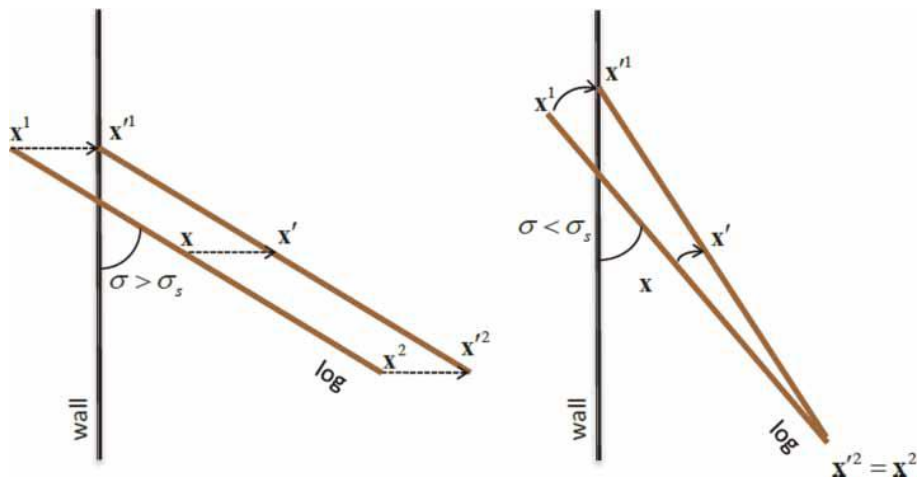


Figura 2. 7 Recàlcul de la posició del tronc segons si rebot (esquerra) o llisca (dreta) (Ruiz-Villanueva et al., 2014a).

2.5.4 Efecte de la turbulència

En molts rius, la rugositat és el principal factor d'influència en el flux, especialment si es tracten de rius amb geometria suau i sense recirculació (Bladé et al., 2016). Tanmateix, en rius d'alta muntanya, zones amb elevada recirculació o amb importants estructures hidràuliques, l'efecte de la turbulència és molt rellevant per a descriure el comportament del flux.

Per representar la influència de la turbulència en el transport de fusta a través d'un flux, s'ha considerat el model k-ε de Rastogi-Rodi donat que és l'únic que proporciona informació de la magnitud de l'energia cinètica turbulenta (Ruiz-Villanueva et al., 2014a).

En aquesta situació, la velocitat del tronc es calcula afegint-hi les fluctuacions que genera la velocitat turbulenta del flux.

$$u = U + u' = U + \lambda(1,5 \cdot k)^{1/2} \quad (2.21)$$

On, U , és la velocitat inicial de l'aigua; u' , són les fluctuacions de la velocitat turbulenta; λ , és un número aleatori de Kleinstreuer & Zhang; k , és el valor de l'energia cinètica turbulenta.

Aquest model de turbulència introdueix una component aleatòria que pretén representar amb més fidelitat la realitat que es dona en els rius en règim turbulent. És per això que dos troncs idèntics introduïts en el flux d'aigua en el mateix punt i el mateix moment poden acabar en zones diferents. L'efecte de la turbulència s'acostuma a usar en estudis de caire estadístic o probabilístics per estudiar aquestes variacions.

2.5.5 Densitat dels troncs

La definició de la densitat dels troncs és d'especial importància per a la simulació del seu transport, ja que determina l'inici del moviment dels elements de fusta i estableix quin és el mecanisme de transport en cada cas.

El mòdul d'IberWood permet introduir la densitat com un valor constant o bé com un paràmetre variable al llarg del temps per tenir en compte l'efecte de l'absorció d'aigua de la fusta en exposicions de llarga durada. En períodes curts de temps pot ser que la variació de la densitat no sigui gaire significativa. Tanmateix, és important tenir en compte aquest factor per caracteritzar correctament el transport de fusta en un flux.

2.5.6 Condicions inicials i de contorn

La introducció dels elements de fusta en el model requereix de la definició de condicions inicials. Es requereix conèixer la posició del tronc definit com el centre de l'element i l'angle θ respecte la direcció del flux, la seva longitud, el seu diàmetre i la densitat per al primer pas de temps.

És possible incorporar els elements de fusta en diferents instants de temps i no és necessari que coincideixin amb el temps d'inici de la simulació. El nombre d'elements entrants a la simulació es pot definir a partir de les condicions de contorn, especificant el nombre de peces de fusta per minut i les seves característiques.

2.6 Discussió i necessitats d'estudi

2.6.1 Síntesi d'alguns estudis de validació

El desenvolupament d'Iber per a la simulació de transport de fusta juntament amb la hidrodinàmica fluvial representa una eina molt interessant per a la predicció del comportament dels troncs i la seva influència sobre el flux d'aigua. El software usa pocs paràmetres per a la introducció dels elements i això facilita el seu ús i simplifica els càlculs, permetent una bona aproximació de simulació.

El mòdul de transport de fusta ha estat provat i validat en els darrers anys en diversos experiments duts a terme en laboratori i també aplicats en casos reals (Bladé et al., 2013; Ruiz-Villanueva et al., 2013; Ruiz-Villanueva et al., 2014a; Ruiz-Villanueva et al., 2014b; Ruiz-Villanueva et al. 2015; Comper et al., 2018; García-Feal et al., 2018).

En general, les conclusions que s'han extret d'aquests treballs és que, tot i la simplificació de forma cilíndrica dels troncs, el model simula prou bé els resultats obtinguts. En alguns casos es detecta que la introducció de branques o arrels limitaria el moviment dels elements i no es representaria bé el bloqueig per l'acumulació de troncs en les estructures. Altres casos indiquen que la consideració de troncs cilíndrics ha simulat cert moviment dels elements que a la realitat no s'observava. És per això que els estudis coincideixen en la necessitat de seguir desenvolupant la geometria dels elements i millorar la representació de la forma dels troncs.

Una altra conclusió que s'ha pogut observar és la necessitat de continuar validant el model mitjançant dades de camp reals. Per a l'estudi de la dinàmica de rius pot ser molt eficaç combinar la modelització numèrica i la física per millorar les simulacions. Tanmateix, la falta de dades de camp respecte al transport de troncs en rius complica l'obtenció de dades empíriques.

Iber utilitza uns mètodes d'anàlisi flexibles que permeten portar els estudis a altres perspectives, com per exemple reproduint escenaris diferents per comparar i avaluar cadascuna de les alternatives i poder proposar mesures d'actuació i de gestió segons els objectius. Fins ara, però, la majoria dels estudis i dels esforços han estat centrats en el calibratge i la validació del mòdul del transport de fusta per mitjà de l'aproximació cinemàtica. Com s'ha vist, aquesta aproximació simplifica molt els càlculs i, tot i no ser tan precisa com l'aproximació dinàmica, els resultats que s'obtenen són prou fiables. Els casos d'estudis duts a terme s'han enfocat en verificar aquests resultats i provar que el mòdul és consistent i robust en aquest marc.

2.6.2 Model de transport de vehicles

Un repte important del present estudi és la transformació del mòdul de transport de fusta en un model de transport de vehicles. Per aconseguir simular el transport de cotxes en un flux, és necessari crear un nou codi de càlcul amb nous paràmetres i noves condicions, procurant simplificar-ho al màxim per modificar el mínim possible del mòdul de troncs.

Estudiant la possibilitat de realitzar una aproximació cinemàtica en els càlculs del model de transport de vehicles s'han trobat diversos conflictes que dificulten la complexitat del nou codi.

En una primera instància, la definició dels elements amb tres punts suposaria una mala interpretació de l'element cotxe. Seria necessari considerar l'amplada del cotxe com un factor d'especial rellevància per als càlculs de la interacció amb altres cotxes o amb parets. Aquest paràmetre es podria associar al diàmetre del tronc però aquest factor únicament intervé en la definició del mecanisme de moviment per determinar si el cos es mantindrà en repòs o es mourà lliscant, rodolant o flotant. Actualment, el diàmetre del tronc no influeix en la interacció que pugui tenir amb altres elements, per tant, seria necessari canviar les condicions d'interacció dels cotxes.

En el cas que es volguessin mantenir les condicions d'interacció dels cotxes, amb l'aproximació cinemàtica es podria plantejar la simulació d'un element cotxe a partir de quatre elements de fusta de dimensions específiques. Es podrien limitar els moviments dels extrems del tronc per a que es moguessin solidàriament però mantenir l'angle entre els troncs a 90° i aconseguir que l'element cotxe no es deformi és un problema que dificulta les equacions de càlcul.

A partir d'aquestes adversitats, es proposa mantenir el mètode cinemàtic i les condicions d'interacció dels troncs per sintetitzar els càlculs del mòdul de vehicles. D'aquesta manera, es considerarà l'element cotxe com un únic element fusta definit per tres punts. Amb aquesta important simplificació es parteix de la premissa que el nou mòdul no interpretarà correctament les interaccions entre els elements, produint situacions de solapament o encastrament. Les equacions que regiran el moviment dels vehicles seran les mateixes que les dels elements fusta però els criteris d'inici del moviment seran diferents. Aquests criteris tindran en compte la dinàmica del vehicle davant l'acció de l'aigua i s'adaptaran a les característiques geomètriques de cada model de cotxe.

Com s'ha vist anteriorment, el coeficient d'arrossegament, C_d , té una influència gran en els càlculs i és molt important definir-lo correctament. Atès que aquest coeficient varia segons el tipus de vehicle, es farà ús de la investigació de E. Martínez a "Inundaciones urbanas: criterios de peligrosidad y evaluación del riesgo para peatones y vehículos" (Martínez, 2016) en el que s'hi proposen diferents valors segons el calat i l'altura lliure del cotxe.

Per evitar introduir més complexitat al model, no es considerarà l'efecte de la turbulència en el flux. L'objectiu de l'estudi és fer una comparativa de la inundació i no pretén ser un estudi probabilístic ni estadístic. Per això, és més adequat eludir introduir una component aleatòria en les fluctuacions del flux.

Per últim, una altra simplificació que es pot aconseguir en aquesta transformació és considerar la densitat de l'element cotxe constant i igual a la del vehicle en estat sec. No es considerarà l'aigua que pugui entrar en el vehicle i es mantindran les condicions dinàmiques inicials per aconseguir una simulació senzilla amb la màxima simplificació dels càlculs.

Aquesta és la primera aproximació de transport de cotxes que es realitza, per la qual cosa, l'objectiu principal és aconseguir transportar vehicles a través d'un flux i simular el comportament que tindrien en diferents condicions. Tanmateix, amb les simplificacions plantejades, s'adverteix que el comportament representat no serà exactament com l'observable a la realitat i, per tant, suposa el plantejament d'un possible treball futur.

3. METODOLOGIA

3.1 Introducció

Els vehicles formen part del dia a dia de les poblacions i, tot i que la mobilitat urbana intel·ligent i sostenible (*smart mobility*) és una eina que actualment està present en la gestió de totes les administracions, el cotxe és un component inherent de la mobilitat de la ciutat. És per això, que constitueix un element d'especial rellevància en els estudis d'inundabilitat en zona urbana i la determinació del seu inici del moviment és essencial per analitzar la perillositat dels episodis d'inundació.

L'estabilitat dels vehicles es veu afectada quan les variables hidràuliques de calat i velocitat superen un cert llindar (Martínez, 2016). Les variables que influeixen en l'estabilitat del vehicle són principalment el seu pes, l'altura lliure fins al terra, la superfície en planta i la hidrodinàmica de la forma del vehicle en la direcció del flux.

En aquest apartat s'exposen les forces actuant sobre els vehicles i els límits d'estabilitat mitjançant la metodologia proposada per E. Martínez basada en les característiques físiques de cada model de cotxe. Així mateix, es preveu presentar les condicions suposades per a la construcció del mòdul de transport de vehicles vers el mòdul IberWood i assenyalar les modificacions realitzades i les variables del nou model. Per últim, s'explicaran els criteris adoptats per avaluar la perillositat de les inundacions i es recolliran les dades utilitzades per a l'elaboració dels models hidrològic i hidràulic de la zona d'estudi.

3.2 Forces hidrodinàmiques actuant sobre el vehicle

Per a poder obtenir un sistema de forces simplificat de la realitat de les forces actuant en un vehicle que es troba parcialment submergit s'han considerat dues hipòtesis:

1. El vehicle és estanc.
La seva densitat és inferior a la de l'aigua i és possible la flotació. Tot i que a la realitat els vehicles no són totalment estancs, el temps que tarden en omplir-se d'aigua és més elevat que l'acció de l'aigua en moure'l i, per tant, considerar aquesta hipòtesis és estar del costat de la seguretat.
2. Les quatre rodes estan bloquejades.
En situacions reals, els vehicles que estan aparcats poden tenir dues rodes bloquejades, però, en general, no tenen les quatre bloquejades. En aquesta simplificació, es vol evitar que les rodes puguin rodar i exercir resistència a l'arrossegament.

Si es considera una situació en la que el vehicle es troba parcialment submergit, les forces actuant sobre aquest serien degudes a l'efecte de l'aigua (la força d'arrossegament, F_D , i l'empenta vertical, F_V) i les degudes a la reacció del terreny (força normal, F_N , i força de fregament entre les rodes i el sòl, F_R).

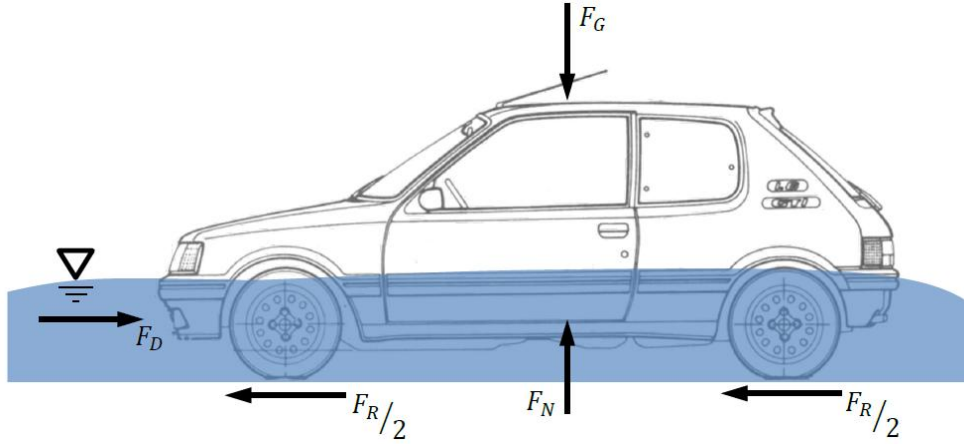


Figura 3. 1 Principals forces actuant sobre un vehicle estacionat i parcialment submergit (Martínez, 2016).

La força d'arrossegament, F_D , es defineix amb l'expressió següent:

$$F_D = \frac{1}{2} \rho_w \cdot v^2 \cdot C_d \cdot A \quad (3.1)$$

On, ρ_w , és la densitat de l'aigua; v , és la velocitat de l'aigua; C_d , és el coeficient d'arrossegament; A , és l'àrea submergida i projectada en el pla perpendicular al flux.

L'empenta vertical, F_V , dependrà del règim hidrodinàmic del flux de l'aigua. Si l'aigua està en repòs, en règim hidrostàtic, F_V serà igual a la força de flotació, F_b ; mentre que si el flux està en moviment, F_V serà la suma de la força de flotació, F_b , i la força d'ascensió, F_L .

$$F_b = \gamma_w \cdot V_w \quad (3.2)$$

$$F_L = \frac{1}{2} \rho_w \cdot v^2 \cdot C_L \cdot A \quad (3.3)$$

On, γ_w ; és el pes específic de l'aigua; V_w , el volum de l'aigua desplaçada pel vehicle; C_L , el coeficient d'ascensió.

L'àrea submergida A és un valor variable que determina l'àrea del cotxe que s'oposa al flux. Es considerarà que el cotxe és un sòlid prismàtic hexaèdric. Les rodes s'han considerat també com elements prismàtics per simplificar els càlculs de les àrees submergides. Aquesta àrea serà diferent si el calat de l'aigua és menor a l'altura lliure del cotxe on només afectarà una part de les rodes; o bé si és major, afectant també a la carrosseria del vehicle.

$$A_{rodes} = (D_w \cdot \sin \theta + B_w \cdot \cos \theta) \cdot y \quad (3.4)$$

$$A_{carrosseria} = (L \cdot \sin \theta + w \cdot \cos \theta) \cdot (y - GC) \quad (3.5)$$

Essent, y , el calat; D_w , el diàmetre de les rodes; θ , l'orientació del vehicle respecte el flux; B_w , l'amplada de les rodes, assumint un valor de 0,20 m en tots els tipus de vehicles; L , la longitud del vehicle; i w , la seva amplada.

En el seu estudi, E. Martínez (Martínez, 2016) proposa dos valors diferents per al coeficient d'arrossegament segons dues situacions diferenciades. Per una banda, quan el nivell de l'aigua és inferior a l'altura lliure del vehicle, les rodes són les úniques que estan exposades a la força de l'aigua per això l'estabilitat del vehicle és major. En aquest cas, es considera un valor $C_d =$

1,10. Per una altra, si el nivell de l'aigua és superior a l'altura lliure del vehicle, l'estabilitat es veu més afectada ja que la força d'arrossegament troba més superfície d'actuació. En aquesta situació, i assumint el vehicle de forma prismàtica, el coeficient pren un valor de $C_d = 1,15$. En el cas d'estudi que ens ocupa, s'usarà un valor constant $C_d=1,15$ per simplificar la modificació de les variables i trobar-nos del costat de la seguretat ja que a iguals condicions de calat i velocitat un coeficient d'arrossegament major augmenta la força d'arrossegament.

En una situació d'inestabilitat per lliscament, l'equilibri del cotxe succeirà quan la força d'arrossegament sigui igual a la força de fregament. En el cas que la inestabilitat sigui deguda únicament per flotació, el moment d'equilibri es donarà quan l'empenta vertical sigui igual a la força gravitacional.

El pes efectiu o submergit, F_G , es defineix com la diferència entre la força gravitacional, F_g , i l'empenta vertical, F_V . L'estabilitat del vehicle vers la flotació s'assegura quan el pes efectiu és positiu.

$$F_G = F_g - F_V = \gamma_c \cdot V_c - (F_b + F_L) \quad (3.6)$$

On, γ_c , és el pes específic del cotxe i V_c el seu volum.

La força de fregament s'oposa al lliscament dels vehicles i apareix quan existeix una força d'arrossegament. Serà major si el pes del vehicle és major i també ho és l'adherència entre la roda i el terreny.

$$F_R = \mu \cdot F_N \quad (3.7)$$

On, μ , és el coeficient de fregament entre les rodes i el sòl; F_N , és la força normal de reacció del terreny, serà igual al pes efectiu, F_G , si el vehicle es troba en una superfície horitzontal.

El valor del coeficient de fregament dependrà del material dels pneumàtics i de la combinació d'aquest material amb la superfície del sòl. En cap cas serà un valor constant si no que variarà en un rang de valors entre 0,25 i 0,75.

3.3 Criteris de moviment

En el seu estudi, E. Martínez presenta una agrupació de les variables físiques que afecten a l'equilibri dels vehicles i proposa un coeficient d'estabilitat, SC_{mod} , per a qualsevol tipus de vehicle que té en compte les seves característiques geomètriques i el coeficient de fregament.

$$SC_{mod} = \frac{GC \cdot M_c}{PA} \cdot \mu \quad (3.8)$$

Essent, GC , l'altura lliure del vehicle [m]; M_c , el pes del vehicle buit [kg]; PA , l'àrea en planta del vehicle, calculat com longitud per amplada [m²]; μ , el coeficient de fregament.

En aquesta expressió es reflexa que per una altura lliure major serà necessari un calat més elevat per moure el vehicle, mentre que per un cotxe amb una àrea en planta superior la força de flotació actuarà més per a un mateix calat i, per tant, serà més susceptible a inestabilitat.

E. Martínez realitza un estudi de diferents models de vehicle i determina la inestabilitat de cadascun d'ells amb mètodes experimentals col·locant els models orientats paral·lels al flux i perpendiculars. A partir d'ambdós resultats considera el valor menor del producte velocitat per calat, $(v \cdot y)$, ja que serà el valor més pròxim al llindar d'inestabilitat. Seguidament, realitza un ajust velocitat-calat per cada tipus de vehicle i proposa una metodologia per obtenir el límit d'estabilitat per a qualsevol vehicle, definint el criteri d'inici del moviment dels vehicles.

L'expressió que proposa per a l'inici del moviment és la següent:

$$(v \cdot y) > 0,0158 \cdot SC_{mod} + 0,32 \quad (3.9)$$

S'observa que es limita a valors de $(v \cdot y) = 0,32 \text{ m}^2/\text{s}$ per a coeficients d'estabilitat nuls.

El calat de flotació h_b s'obté imposant que el pes de l'aigua desplaçada pel vehicle sigui igual al pes del propi vehicle. En aquesta situació, el calat de flotació és:

$$h_b = \frac{M_c}{\rho_w \cdot l_c \cdot b_c} + GC \quad (3.10)$$

Essent, l_c , la longitud del vehicle i b_c la seva amplada.

En el cas que el vehicle floti, i tenint en compte que el vehicle és estanc, l'àrea submergida del cotxe serà sempre la mateixa assumint-se $y=h_b$.

Com s'ha comentat anteriorment, el coeficient de fregament és un paràmetre que depèn de les condicions del pneumàtic i del terreny variant constantment en un rang entre 0,25 i 0,75. E. Martínez proposa diferents valors per a cadascun dels vehicles analitzats. En el seu estudi (Martínez, E., 2016) realitza diferents experiments sobre models de cotxes reduïts i extreu uns valors del coeficient de fregament propers a $\mu=0,58$. Tanmateix, atès que per establir un valor específic és necessari realitzar anàlisis empírics i considerar un valor mitjà podria sobreestimar la força de fregament, en el present estudi s'ha optat per establir un valor fixat de 0,30 per tots els tipus de vehicles introduïts en el model. D'aquesta manera, l'inici del moviment s'assoleix amb calats i velocitats menors afavorint el transport de vehicles i mantenint-se del costat de la seguretat amb la reducció d'aquest paràmetre.

El mecanisme de transport de vehicles vindrà determinat per les característiques físiques del cotxe. Aleshores, si el calat de l'aigua és superior al calat de flotació, $h > h_b$, el vehicle flotarà en qualsevol cas, mentre que si el calat és inferior a h_b però es compleix la condició d'inici del moviment, el vehicle serà arrossegat. La següent figura mostra l'esquema descrit del criteri d'inici del moviment dels vehicles.

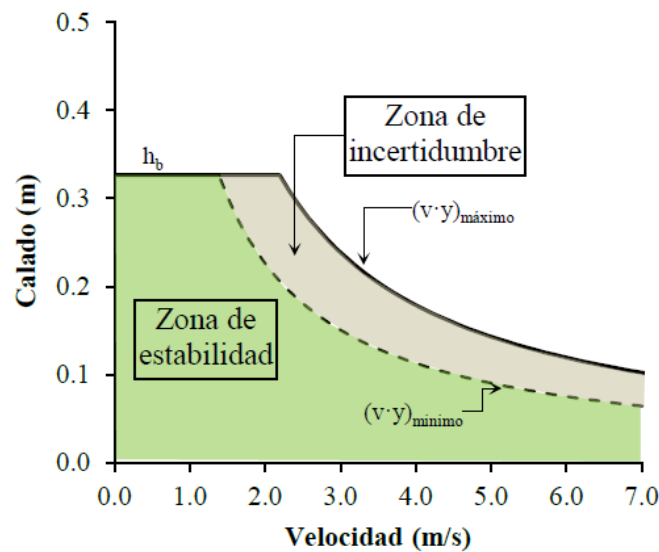


Figura 3. 2 Esquema del criteri del moviment d'un vehicle (Martínez, 2016).

3.4 Interaccions

Aquest projecte és de caire acadèmic i vol representar el transport de vehicles en una inundació en zona urbana. S'han considerat les interaccions com un eix longitudinal que passa pel centre del vehicle, és a dir, com en el mòdul de troncs. Atès que és del primer estudi que es desenvolupa en aquest camp i l'objectiu és la simulació del transport de vehicles en episodis d'avingudes, no es considerarà amb precisió la interacció dels laterals dels vehicles. Això suposarà una important limitació dels resultats obtinguts donat que les col·lisions dels elements no estaran prou ben definides i els calats i velocitats resultants seran diferents dels que s'obtidrien a la realitat. Aquesta condició s'haurà de desenvolupar en un futur estudi per evitar la intrusió i el solapament de vehicles i representar amb més detall el comportament dels elements.

Els valors necessaris per determinar les condicions d'interacció entre els elements en el model són els establerts per IberWood per defecte amb un angle de rebot amb la paret de 0,78 rad. D'aquesta manera, es determina que el valor límit entre el lliscament i el rebot de l'element cotxe vers un altre element ve definit per un angle d'incidència $\sigma_s = 45^\circ$.

3.5 Interfície

La interfície que usa el mòdul de transport de vehicles és la mateixa que el mòdul IberWood. El mòdul s'ha de seguir desenvolupant i millorant i, per tant, es pretén generar una interfície nova i independent del mòdul de fusta en un futur proper.

Tanmateix, és necessari definir quines són les variables i els coeficients que s'han usat en el mòdul de IberWood per simular el transport de vehicles. Aquestes variables, tot i que en la interfície tenen un nom i una descripció referent al mòdul de fusta, estan formulades per realitzar els càlculs del transport de vehicles.

Per facilitar l'estudi del transport de vehicles i la introducció de les variables del moviment dels flotants es presenten les següents relacions entre variables i coeficients afegides en el nou codi.

Taula 3. 1: Relació de variables entre IberWood i IberVehicle.

IberWood	IberVehicle	Descripció
Longitud [m]	L [m]	Longitud cotxe
Diàmetre [m]	w [m]	Ample cotxe
Densitat (tf) [kg/m ³]	h_b [m]	Calat de flotació
k [1/h]	GC [m]	Altura lliure
Densitat (t0) [kg/m ³]	W [kg]	Pes del cotxe buit
Coeficient d'arrels	D_w [m]	Diàmetre de les rodes

3.5.1 Tipus i característiques dels vehicles

Per poder introduir totes aquestes dades és necessari tenir informació física i geomètrica de diferents tipus de vehicles per fer una simulació representativa de l'àrea d'estudi. La zona d'anàlisi es troba al centre de Girona i conforma l'àrea comercial amb més moviment de la ciutat. Aquesta zona, tot i que presenta carrers pacífics i zones de restricció a la circulació, compta d'una mobilitat elevada de vehicles destinats al transport i subministrament de mercaderies.

Donada la gran varietat de vehicles que hi circulen i hi estacionen diàriament i la diferència de tipologia de vehicles que hi ha els dies feiners respecte el cap de setmana, s'ha decidit introduir

quatre tipus de vehicles diferents catalogats segons la seva grandària per agrupar els diferents models amb característiques semblants. La tipologia de vehicle es classifica en:

- Vehicle Petit: turisme familiar, berlina o coupé.
- Vehicle Mitjà: monovolum, tot terreny o furgoneta combi.
- Vehicle Gran-I: mini bus o furgó.
- Vehicle Gran-II: camió lleuger.

Les característiques dels vehicles petits i mitjans s'han extret de la recerca de l'estudi de l'E. Martínez en el que s'hi presenta una taula amb totes les variables dels models estudiats per avaluar l'estabilitat de cadascun d'ells. De l'amplia col·lecció de cotxes analitzats, s'han dividit segons la tipologia de vehicle i, posteriorment, s'han considerat els valors mitjans de cada variable per determinar el vehicle patró de cada grup.

En el cas dels vehicles grans, s'han assumit les dimensions establertes en la Norma 3.1 de la Instrucció de Carreteres (DGC, 2016) per a vehicles patró així com les limitacions de la Reglamentació sobre vehicles pesats (DGT, 2015). Les dades que aquests documents no recollien s'han obtingut a partir de la comparativa de diferents productes comercials.

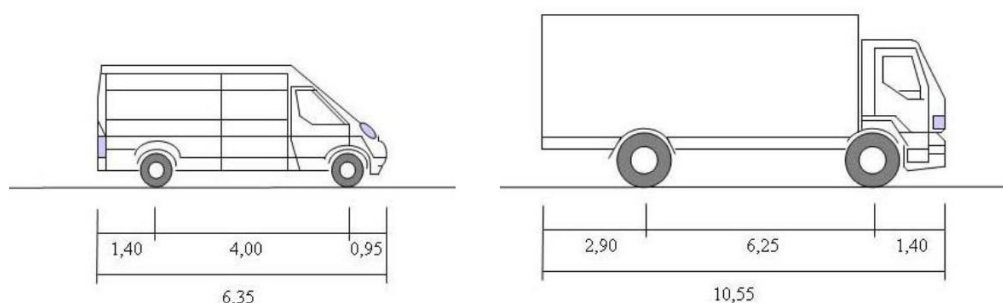


Figura 3. 3 Dimensions en metres dels vehicles patró(DGC, 2016).

La següent taula recull les característiques de cadascun dels grups de vehicles:

Taula 3. 2: Classificació i característiques dels vehicles introduïts al model.

Tipologia de vehicle	Longitud [m]	Amplada [m]	Pes buit [kg]	Altura lliure [m]	Calat flotació [m]	Diàmetre rodes [m] ³
Petit	4,22	1,75	1280	0,135	0,308	0,381
Mitjà	4,60	1,87	1900	0,195	0,416	0,406
Gran-I	6,35	2,05	2500 ¹	0,200	0,392	0,432
Gran-II	10,55	2,55	3500 ²	0,245	0,375	0,572

¹ Pes màxim per vehicles lleugers, primera classificació.

² Pes màxim per vehicles lleugers, segona classificació.

³ Diàmetre de les rodes corresponent a 15", 16", 17" i 22,5".

En el moment d'introduir els vehicles en el model es requereix afegir la informació de la posició inicial de cadascun d'ells. Per fer-ho, s'ha fet ús del Pla de Mobilitat Urbana de Girona per definir els carrers amb zona d'aparcament, d'ortofotos vigents de l'àmbit de 25 cm i altra informació georeferenciada disponible a l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC), a més del suport de Google Maps. Mitjançant aquests recursos ha estat possible realitzar un mapa de punts amb ArcGis amb la posició (x, y) de cada vehicle i la seva orientació en el model.



Figura 3. 4 Localització dels diferents tipus de vehicles en la zona d'estudi.

Finalment, s'han comptabilitzat un total de 315 vehicles en l'àmbit d'estudi. S'han suposat únicament els vehicles estacionats en un dia laboral i en la posició observada a les imatges aèries. En els carrers pacíficats o en el Barri Vell on no hi ha zona d'aparcament s'han considerat alguns vehicles estacionats per simular situacions que es donen en el dia a dia de la ciutat. Es tracten de vehicles que estacionen per pocs minuts, per carregar o descarregar mercaderies o per fer tràmits de curta durada. En cap cas s'han considerat vehicles en moviment o en circulació.

S'estima que tots els vehicles introduïts es troben en aquesta situació des de l'instant zero i en la simulació constarà la seva posició i orientació des de l'instant $t=0s$.

Taula 3. 3: Nombre de vehicles introduïts al model.

Tipologia	Vehicles	Percentatge
Petit	186	59%
Mitjà	96	30%
Gran-I	15	5%
Gran-II	18	6%
TOTAL	315	100%

3.6 Criteris d'avaluació de la perillositat

La perillositat d'una inundació té en compte determinats criteris que es defineixen segons les característiques del flux i inclouen la seguretat de les persones i dels béns materials. En funció de les dades de calat i velocitat que aconsegueix el flux en la zona d'estudi es pot establir la gravetat de la inundació. La perillositat augmenta a majors valors de calats i velocitats.

L'ACA proposa una classificació de perillositat a partir d'aquests paràmetres (Gracia et al., 2010). El rang més greu es subdivideix en tres ordres de perillositat amb la finalitat d'avaluar millor els danys i les incerteses dels possibles efectes que pot ocasionar una inundació.

Taula 3. 4: Classificació de la perillositat segons l'ACA (Gracia, et al, 2010).

Perillositat	Calat [m]	Velocitat [m/s]	Cabal específic [m ² /s]
Extrema	$y > 4$	$v > 6$	$y \cdot v > 2$
Molt alta	$2 < y \leq 4$	$3,5 < v \leq 6$	$1 < y \cdot v \leq 2$
Alta	$1 < y \leq 2$	$1 < v \leq 3,5$	$0,5 < y \cdot v \leq 1$
Moderada	$0,4 < y \leq 1$	$0,4 < v \leq 1$	$0,08 < y \cdot v \leq 0,5$
Baixa	$y \leq 0,4$	$v \leq 0,4$	$y \cdot v \leq 0,08$

Per poder determinar la perillositat s'ha de tenir en compte la freqüència amb la que és probable que succeeixi un episodi amb determinats calats i velocitats. Per tant, la perillositat depèn tant de la gravetat de la inundació com de la probabilitat que esdevingui (Gracia et al., 2010).

$$perillositat = f (gravetat, probabilitat d'ocurrència) \quad (3.11)$$

S'apliquen diferents factors per als diferents períodes de retorn per tal de ponderar la gravetat de les inundacions segons la seva probabilitat d'ocurrència. Aquests factors s'assignen als calats i velocitats de les respectives inundacions.

Taula 3. 5: Factor de perillositat segons la probabilitat d'ocurrència (Gracia, et al, 2010).

Període de retorn	Factor de perillositat
10 anys (T010)	2
100 anys (T100)	1
500 anys (T500)	0,5

El valor de la perillositat és l'envolupant de la perillositat de cadascun dels períodes de retorn.

$$perillositat = \max (perillositat T010, \dots, perillositat T500) \quad (3.12)$$

Els criteris que proposa l'ACA són vàlids tant per zona rural com per zona urbana. Com es pot observar, els valors límit de la classificació són molt elevats i els rangs són molt amplis. Els llindars d'aquesta ordenació són poc representatius per a caracteritzar la perillositat en zona urbana ja que la seguretat de les persones no es veu reflectida en els valors de les classes.

Calats de 0,50 m són valors molt elevats que suposen una greu afectació als edificis així com a l'estabilitat de les persones. Per tenir en compte les condicions concretes que es donen a la ciutat i caracteritzar la perillositat més acuradament per preservar la seguretat de les persones i dels béns materials es fa ús dels estudis duts a terme per B. Russo (2009) i E. Martínez (2016). En ambdós estudis s'hi analitza l'estabilitat de les persones amb campanyes experimentals i es proposen uns criteris per avaluar la perillositat segons els resultats obtinguts. Martínez (2016) fa una recerca dels criteris duts a terme per diversos autors i suggereix un criteri molt més conservador, mantenint-se del costat de la seguretat, amb llindars que es troben per sota de qualsevol altra classificació.

Els criteris que descriuen els diferents rangs són:

- Perillositat alta
Inclou tots aquells experiments on la persona perd per complert l'estabilitat.
- Perillositat moderada
Les persones mostren dificultats per dur a terme l'exercici. S'observa gran esforç, lentitud, relliscades o pèrdua de calçat.
- Perillositat baixa
Petites o nul·les inestabilitats. No s'observen complicacions ni esforç significatiu.

Els llindars proposats de cada rang es recullen en la següent taula:

Taula 3. 6: Classificació de la perillositat segons Russo i Martínez (Martínez, 2016).

Perillositat	Calat [m]	Velocitat [m/s]	Cabal específic [m ² /s]
Alta	$y > 0,5$	$v > 1,88$	$y \cdot v > 0,22$
Moderada	$y \leq 0,5$	$v \leq 1,88$	$0,16 < y \cdot v \leq 0,22$
Baixa	$y \leq 0,5$	$v \leq 1,88$	$y \cdot v \leq 0,16$

S'observa com aquests límits són molt més restrictius que els considerats per l'ACA. Russo (2009) va concloure que per velocitats de l'aigua inferiors a 1,88 m/s les persones no presentaven inestabilitats. Martínez (2016) proposa el valor de calat 0,50 m com a llindar de perillositat alta ja que és el valor límit d'estabilitat en nens. En adults aquests paràmetres podrien ampliar-se però per suposar un criteri inclusiu es decideix mantenir aquests valors.

Cal esmentar que els criteris que es suggereixen s'han obtingut en referència a l'estabilitat de persones segons els anàlisis duts a terme empíricament. A Barcelona, els nivells recomanats per un bon funcionament hidràulic dels carrers en cas de pluja i el correcte dimensionament de la xarxa de sanejament és d'un calat màxim de 6 cm i una velocitat de l'aigua de 1,5 m/s. Per això, tot i que aquest criteri estigui més adaptat a l'efecte de les inundacions en zona urbana, en cap cas s'haurien de donar aquestes condicions a ciutat.

Per fer l'anàlisi de perillositat s'avaluaran ambdós criteris i no es tindrà en compte l'efecte de la xarxa de drenatge, suposant que tota l'aigua provinent de la inundació circularà lliurement pels carrers de Girona.

3.7 Model hidrològic i hidràulic

Una de les finalitats del present treball és la modelització hidràulica i la caracterització de les zones inundables associades al riu Onyar al seu pas per Girona en l'àmbit d'estudi. En aquest context és necessari fer un anàlisi de les condicions hidrològiques de la zona i definir les estructures hidràuliques que afectaran al flux del riu.

3.7.1 Estudi hidrològic

S'ha realitzat un nou estudi hidrològic de la conca de l'Onyar amb model distribuït per reflectir la resposta de les conques davant de diferents episodis de pluja que permeti determinar els hidrogrames d'avinguda per diferents períodes de retorn (10, 100 i 500 anys).

La metodologia de l'estudi hidrològic s'ha basat en els criteris tècnics establerts per l'ACA en el document "Recomanacions tècniques per als estudis d'inundabilitat d'àmbit local", de març de 2003 introduint certes modificacions metodològiques per tal de representar el més acuradament possible el comportament de les conques d'estudi i adaptar-se a les necessitat de les variables de càlcul del model distribuït.

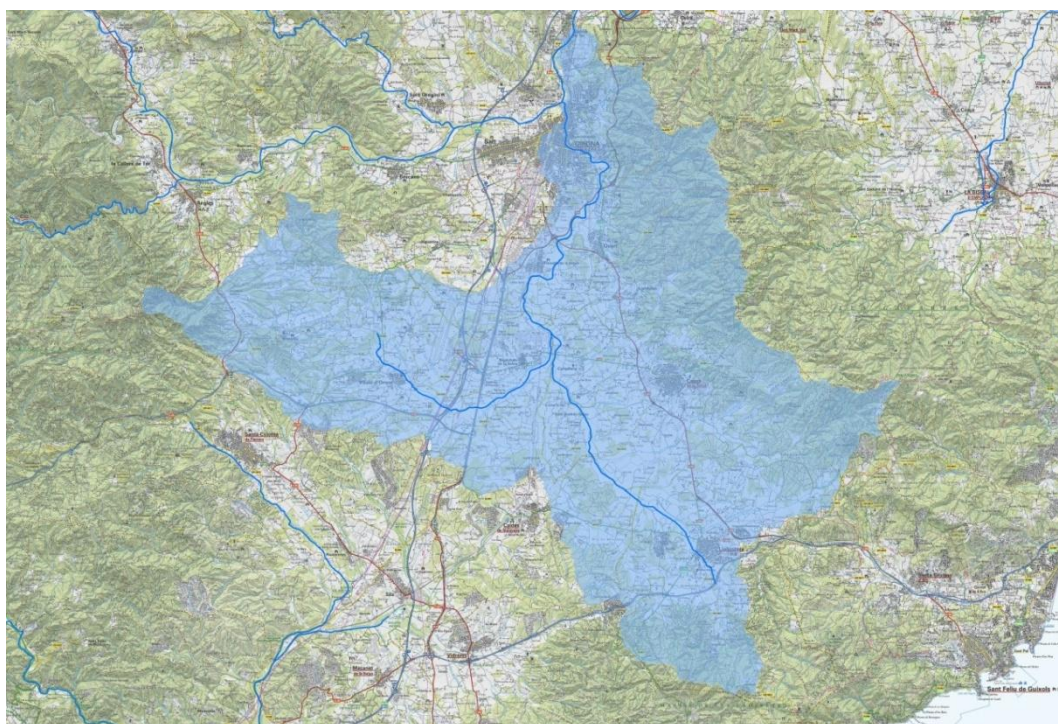


Figura 3. 5 Conques simulades en l'estudi hidrològic.

Iber inclou un mòdul que permet el càlcul de la transformació pluja-escorrentiu i que fa possible la seva aplicació com un model hidrològic distribuït basat en les equacions per aigües someres.

Aquestes utilitats hidrològiques inclouen:

- Definició de camps de precipitació a partir de pluviòmetres o ràsters de precipitació.
- Definició de pèrdues per infiltració amb diferents models: Green-AMPT, Horton, Número de Corba del Soil Conservation Service (SCS) i infiltració constant.
- Esquema numèric adaptat al càlcul de l'escolament superficial resolent les equacions d'aigües someres (esquema DHD).
- Utilitats per suavitzar el Model Digital del Terreny (en endavant MDT) mal condicionats des d'un punt de vista hidrològic.

Es realitzen els càlculs amb el mòdul IberPLUS que consisteix en una implementació del model Iber que realitza els càlculs numèrics mitjançant una targeta gràfica Nvidia compatible amb CUDA reduint significativament el temps de càlcul.

3.7.1.1 Geometria del model numèric distribuït

Per a la geometria de càlcul del terreny s'ha pres com a base el MDT 5x5 disponible a la web de l'ICGC. A partir d'aquest MDT, s'ha retallat en base a l'extensió de la conca i s'ha generat una malla de càlcul amb les següents característiques:

- Tipus de malla: estructurada
- Geometria dels elements: triangular
- Tolerància de generació de la malla (RTIN): 1 m (error màxim)
- Costat màxim dels elements: 500 m
- Costat mínim dels elements: 20 m

Cal destacar que l'àmbit està format per la conca de la riera de la Gotarra, la conca l'Onyar i la conca compartida amb el Mig Ter que coincideix amb la zona est del municipi de Girona. La malla de càlcul resultant té un total de més de 436 mil nodes i 864 mil elements.

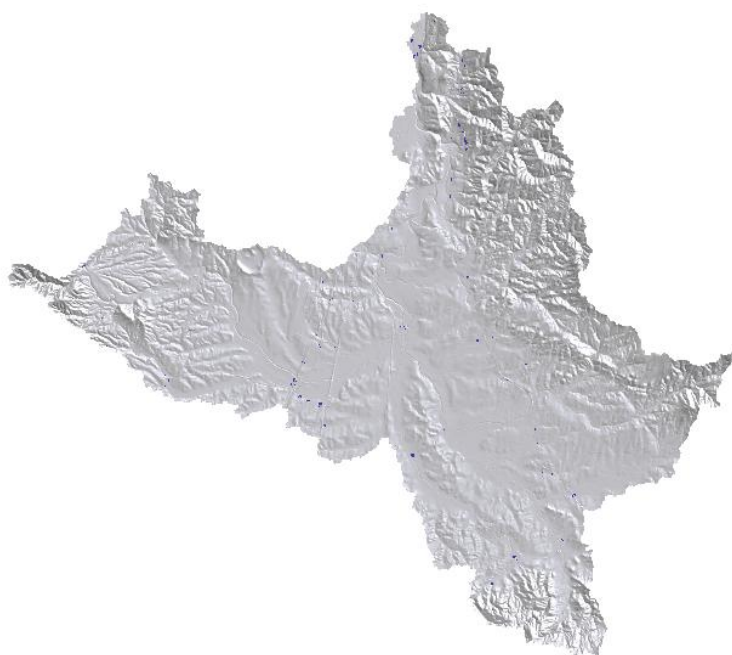


Figura 3. 6 Malla del model hidrològic de les conques simulades.

La presència d'infraestructures lineals de transport, transversals a la direcció natural d'escolament del flux, pot afectar significativament a la generació dels hidrogrames d'avinguda en el tram final de la conca, per la qual cosa s'han representat aquelles obres de pas i de drenatge que poden condicionar aquest comportament.

Atès que no es disposa d'un estudi anterior amb un inventari complet de les estructures que afecten a la hidrologia de la conca, la informació geomètrica de les estructures existents s'han obtingut a partir de l'anàlisi del MDT 2x2 de la conca i la cartografia existent en l'àmbit. S'han representat un total de 101 estructures, introduïdes com a *culvert* en el model hidrològic. A l'Annex C s'hi recullen les dades geomètriques de les estructures representades.

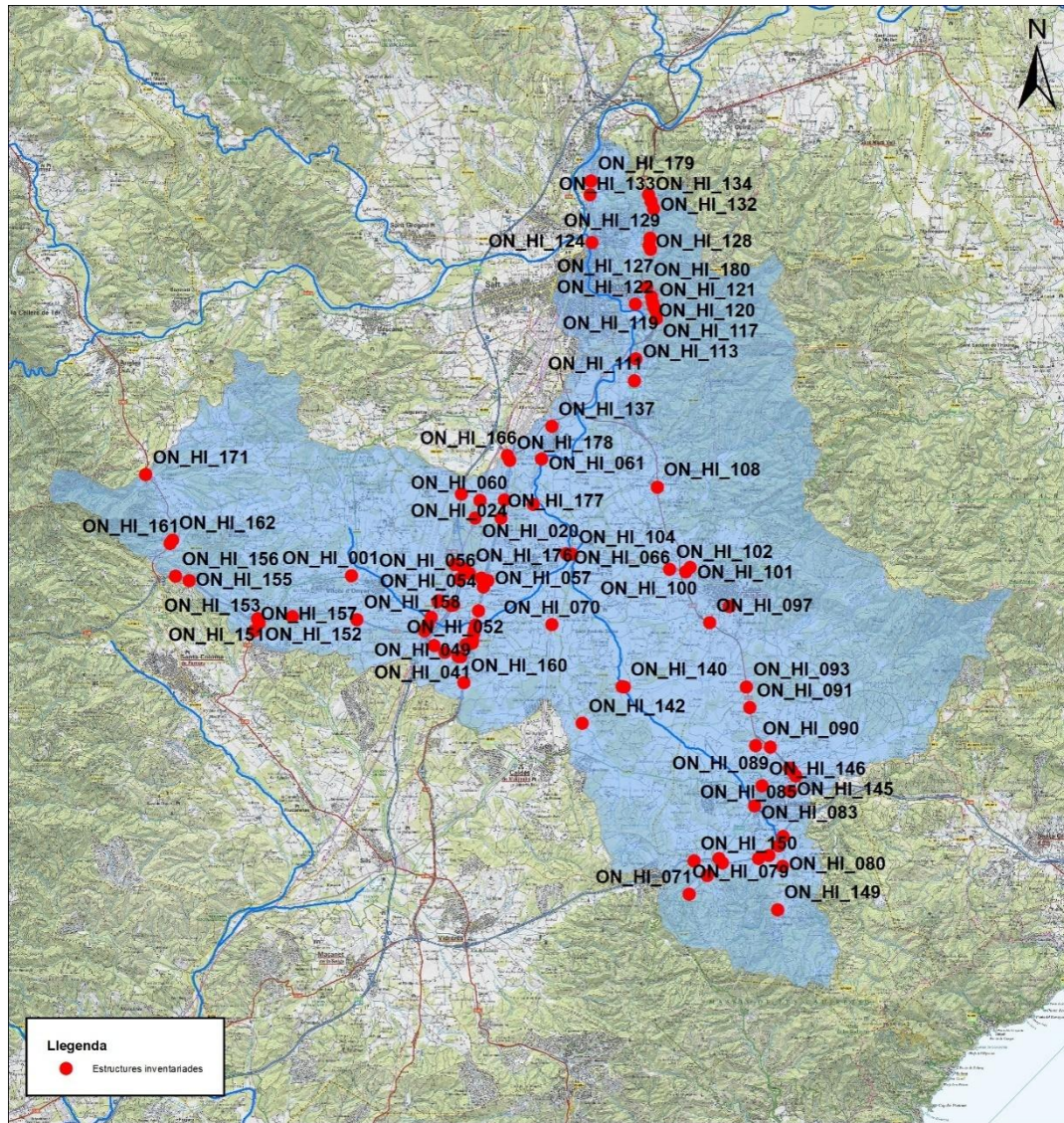


Figura 3. 7 Identificació de les estructures incloses a les simulacions hidrològiques.

S'ha determinat un coeficient de rugositat de Manning variable en l'espai, basat en la classificació present en el Mapa de cobertes del sòl de Catalunya (en endavant MCSC) versió 4a Edició, 2009, i assignant a cada grup un coeficient de rugositat representatiu de la seva resistència al flux.

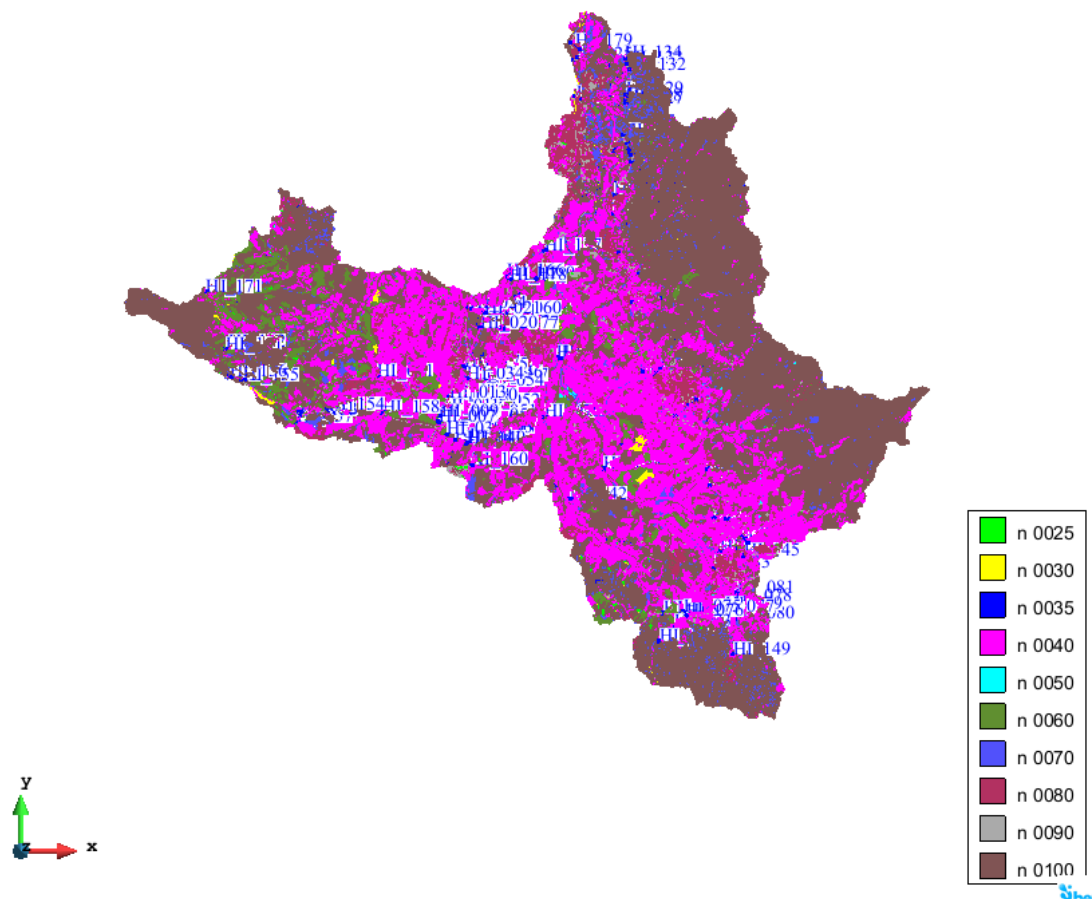


Figura 3. 8 Coeficients de rugositat de Manning emprats en les simulacions hidrològiques.

A l'Annex A es presenta una taula en la que es relacionen els usos del sòl presents a la cobertura MCSC (codi simple, C_SIMPLE) amb el coeficient de rugositat de Manning adoptat.

3.7.1.2 Precipitació bruta

A partir de la revisió de la hidrologia de l'INUNCAT s'observa que no es disposa d'un estudi de les tempestes registrades a les conques internes de Catalunya i, en absència de dades específiques, s'ha optat per realitzar diversos càlculs amb durades de tempesta diferents. Per fer-ho, s'han analitzat les dades de les estacions d'aforament de la conca disponibles a les bases de dades de l'ACA i s'ha observat que els valors dels cabals més propers als ajustos estadístics de les esmentades estacions s'obtenen per durades de tempesta de 12 hores.

Amb aquestes consideracions, s'han elaborat una sèrie de ràsters d'intensitat de precipitació (mm/h) amb les següents característiques:

- Les pluges de projecte són de 12 hores, donat que, en base a la informació consultada, es considera que aquesta és la durada representativa dels successos de precipitació que donen lloc a les principals inundacions tant en l'àmbit estudiat com en el seu entorn proper.
- Cada ràster està associat a la intensitat de precipitació en un interval de 30 minuts. S'han generat un total de 24ràsters d'intensitat de precipitació per a caracteritzar cadascun dels episodis de pluja associats a un període de retorn determinat.

- Els valors d'intensitat de pluja per a cada cel·la de cadascun dels ràsters s'han calculat a partir dels ràsters de precipitació màxima diària publicats per l'ACA mitjançant la formulació de la corba intensitat-duració-freqüència (en endavant IDF) de la Direcció General de Carreteres i aplicant el mètode dels blocs alternats.
El mètode dels blocs alternats és una forma simple de desenvolupar un hietograma de disseny utilitzant una corba IDF. El hietograma de disseny produït per aquest mètode especifica l'alçada de precipitació en n intervals de temps successius de durada Δt , sobre una durada total de $D = n \cdot \Delta t$. En aquest cas s'ha optat per definir un hietograma de disseny on la intensitat màxima té lloc en els blocs centrals.

A partir de la precipitació diària P_d s'obindrà el seu valor corregit amb el coeficient de simultaneïtat K_A (ACA, 2003). Aquest coeficient és adimensional i permet reduir la precipitació diària P_d de les conques amb una superfície major a 1 km². Si la conca té una àrea menor o igual a 1 km², aleshores $K_A = 1$. La seva expressió és la següent:

$$K_A = 1 - \frac{\log S}{15} \quad (3.13)$$

On, S , és la superfície de la conca [km²].

L'ús d'aquest coeficient es justifica perquè els valors de la precipitació diària són obtinguts normalment en punts concrets de l'àmbit (estacions meteorològiques) en comptes d'àrees extenses com es considera en els càlculs. Aquest coeficient té en compte que a vegades les estacions són prop del centre de xàfec, altres prop dels contorns de la conca i altres en posicions intermèdies. El valor de la precipitació diària que s'haurà d'usar per la construcció del hietograma és P_d' .

$$P_d' = K_A \cdot P_d \quad (3.14)$$

Degut a les grans dimensions de la conca de l'Onyar, s'ha considerat convenient aplicar un coeficient de simultaneïtat $K_A = 0,83$.

3.7.1.3 Precipitació neta – model de pèrdues

Dels models de pèrdues que ofereix Iber en la versió de treball, cap permet assignar de forma automàtica els paràmetres d'infiltració de la conca de forma discretitzada a partir d'una cobertura o ràster, cosa per la qual s'ha optat per aplicar el model de pèrdues sobre la pluja bruta, obtenint així la pluja neta en un pas previ.

La pluja neta s'ha calculat a partir dels ràsters de pluja bruta definits anteriorment (hietogrames), aplicant la formulació per al càlcul de la pluja neta del Número de Corba del SCS.

$$P_n = \frac{(P - P_0)^2}{P + 4P_0} \quad (3.15)$$

On, P_n és la pluja neta [mm]; P , és la pluja bruta [mm]; P_0 , és el llinard d'escorrentiu [mm].

La cobertura del llinard d'escorrentiu s'ha generat a partir de la següent documentació:

- MDT 5x5 de l'ICGC.
- Cobertura geològica E: 1:250 m de l'ICGC i assignació de tipus de sòl segons l'ACA (2003).

- MCSC versió 4a Edició, 2009. S'ha relacionat amb el codi simple (C_SIMPLE) amb la classificació del sòl del SCS, recolzat en l'equivalència amb els usos del Sistema d'Informació sobre l'Ocupació del Sòl d'Espanya (SIOSE).

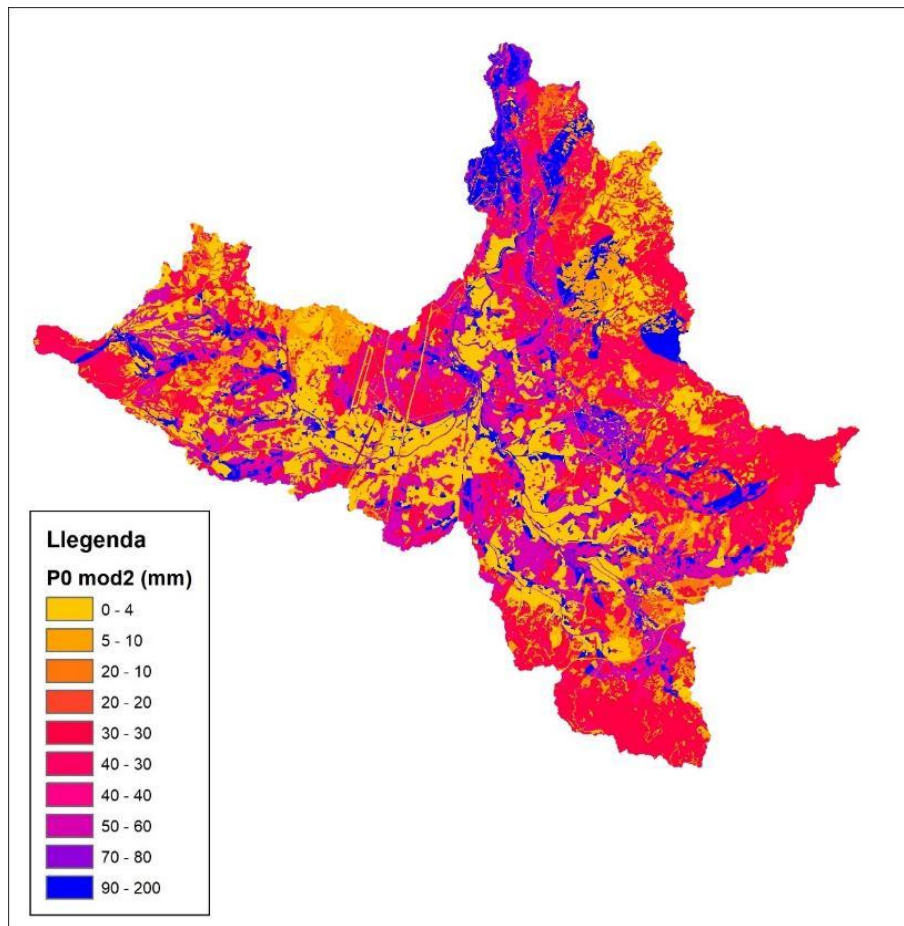


Figura 3. 9 Distribució de P_0 a la conca estudiada.

A mode d'exemple, a continuació es presenten diverses imatges del camp de pluja neta per a T_{500} introduït al model per a cada instant de temps ($\Delta t = 30$ min). Cada ràster es correspon, cel·la a cel·la, a un bloc del hietograma. El rang d'intensitats de precipitació representat és 200-0 mm/h en tots els casos.

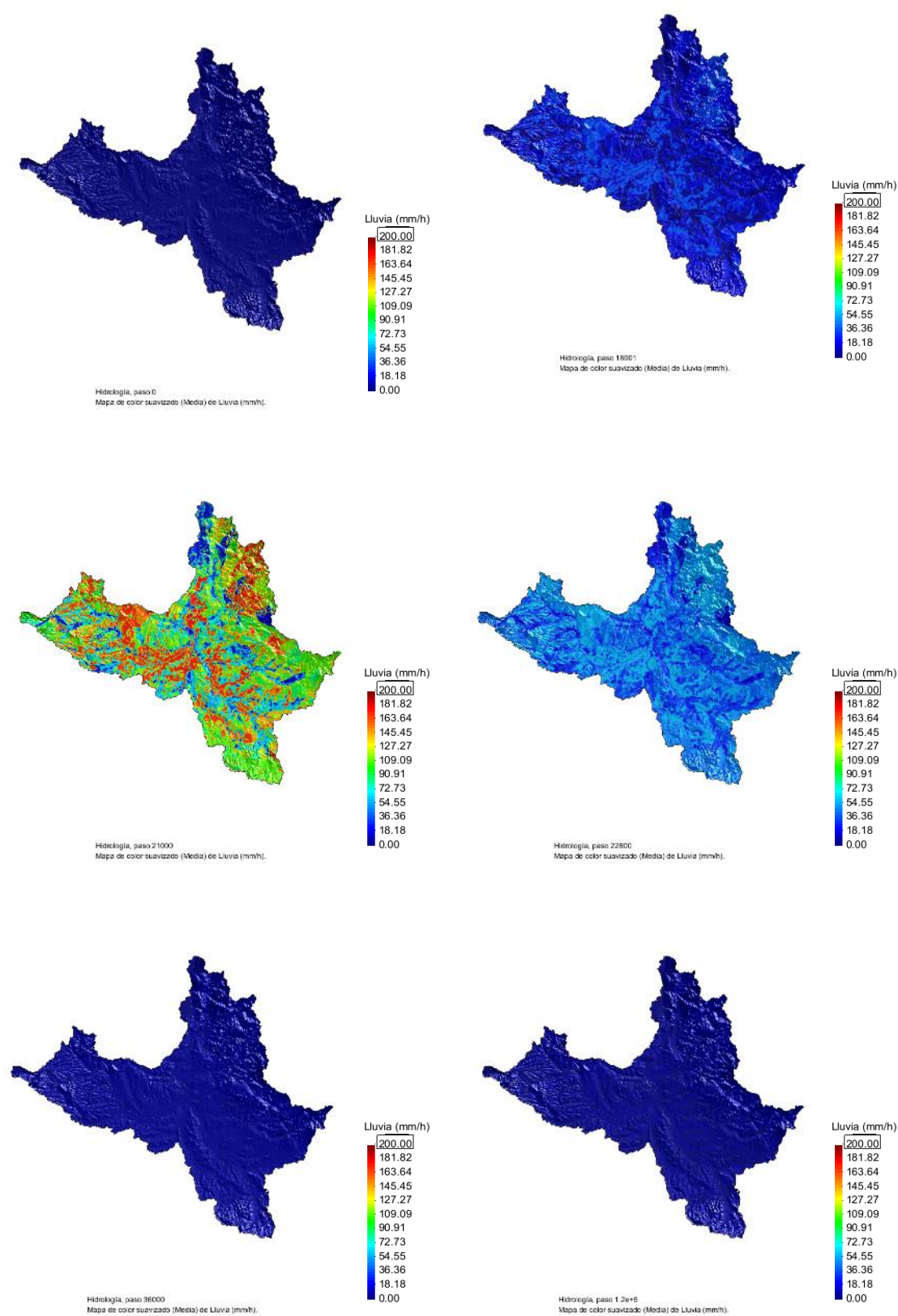


Figura 3. 10 Precipitació neta introduïda al model hidrològic.

3.7.1.4 Condicions de contorn i condicions inicials

No s'introdueixen condicions de contorn d'entrada perquè la conca és suficientment gran i no té la influència d'altres cursos fluvials que afectin a la hidrologia de l'àmbit.

S'ha considerat condicions de sortida crítica en tot el contorn de la malla de càlcul per tal d'evitar l'acumulació d'aigua al contorn i defugir així possibles errors de càlcul o distorsions en els resultats.

Com a condicions inicials, es suposa calat zero a tot l'àmbit d'estudi.

3.7.1.5 Paràmetres de càlcul

Els principals paràmetres emprats per al càlcul de les simulacions hidrològiques amb el model Iber han estat els següents:

- Model numèric de càlcul: DHD (hidrològic)
- Llindar sec-mullat: 0,0001 m
- Mètode d'assecat: hidrològic
- Pre-procés: ompliment de depressions (*fill sinks*)
- Temps de càlcul: 180.000 s
- Interval de resultats: 600 s

3.7.1.6 Calibratge del model hidrològic

Per poder avaluar la validesa del model hidrològic s'ha comparat els resultats obtinguts amb l'*Anuari de Dades Hidrològiques 1987-88 / 1988-89 / 1989-90* i la base de dades de l'ACA de les estacions d'aforament disponibles en el territori de la conca de l'Onyar.

S'ha fet una recerca inicial per determinar el cabal màxim instantani (en endavant Q_{ci}) que s'assoleix cada any i el dia en el que es produeix en cada estació d'aforament per tal d'establir el nombre d'anys en el que hi ha dades disponibles i determinar quines seran les estacions d'aforament usades per al calibratge. El procediment emprat per a l'acceptació o el descart de cada estació d'aforament ha estat el següent:

1. Consultar la base de dades de l'ACA de les sèries de cabal màxim diari de les variables corresponents i vàlides per a cada estació d'aforament.
2. Comprovar els valors del cabal els dies anteriors i posteriors al màxim anual i valorar si té coherència el cabal màxim diari anual o bé si és un valor aïllat o erroni.
3. Si no queda clar la coherència del valor cabal màxim anual, es comproven les sèries cinc minutals de cada estació d'aforament del dia en el que es va produir el màxim anual.
4. Si hi ha discordança entre la sèrie de màxims diaris i les sèries cinc minutals, es prioritza el cabal màxim de la sèrie cinc minutal.

Les consultes s'han fet considerant els anys hidrològics de les dades de les estacions d'aforament, és a dir, de l'1 d'octubre de l'any anterior al 30 de setembre de l'any d'estudi. Cal esmentar que les dades de l'*Anuari* arriben fins a l'any 1990 i les dades de la base de dades s'inicien el 1995 fins a l'actualitat.

A partir dels Q_{ci} obtinguts de les sèries de dades per cada estació d'aforament, s'ha fet un ajust amb les distribucions de Gumbel, SQRT-Etmax i LogPearson III comprovant que superen el

test de bondat d'ajust de Kolmogorov-Smirnov i χ^2 per als nivells de significació del 2% i del 5%. Amb els resultats obtinguts, s'ha determinat adoptar la distribució de LogPearson III per a l'ajust de les estacions, canviant en algun cas concret a una altra llei d'ajust si les dades dels Q_{ci} s'hi adaptaven millor.

Inicialment, es detecten un total de 3 estacions d'aforament en la conca de l'Onyar. El calibratge es realitza a partir de la modificació de la P_0 per tal d'ajustar els resultats del model en Iber a les dades de les estacions d'aforament. Es realitza un primer calibratge (Calibratge 1) per a cadascun dels models segons la disponibilitat de dades. En els casos en els que existeixi més d'una estació d'aforament es realitzarà un segon calibratge (Calibratge 2) per si no fos possible el primer calibratge o verificar els seus resultats.

Per detectar la qualitat de les dades i acceptar l'estació d'aforament, es determina el nombre de dades disponibles, és a dir, el nombre d'anys validats. Es descarten directament les estacions d'aforament amb dades de menys de 10 anys validats.

Posteriorment, es comparen els resultats dels ajustos de cada estació d'aforament amb els resultats validats per l'ACA en la tramificació de cabals (en endavant t_{hidro}) disponible al web i els resultats obtinguts en el model hidrològic Iber. Si s'observa que els resultats dels ajustos d'una estació d'aforament són molt diferents dels valors que s'han determinat en el t_{hidro} i en el model hidrològic, aquesta es descarta. A l'Annex B es presenten els resultats dels ajustos de l'estació d'aforament.

A continuació, es presenta una taula resum de caracterització de les estacions d'aforament i un anàlisi de la representativitat dels resultats obtinguts.

Taula 3. 7: Caracterització de les estacions d'aforament i representativitat pel calibratge.

EA Calibratge 1	Anys Validats	Resultat	EA Calibratge 2	Anys validats	Resultat
EA020 Girona (Onyar)	47	Acceptada Calibratge P_0 per T010 i T100	EA124 Riudellots de la Selva	20	Descartada per diferències amb t_{hidro} i resultats model
EA123	24	Descartada per diferències amb t_{hidro} i resultats model	-	-	-

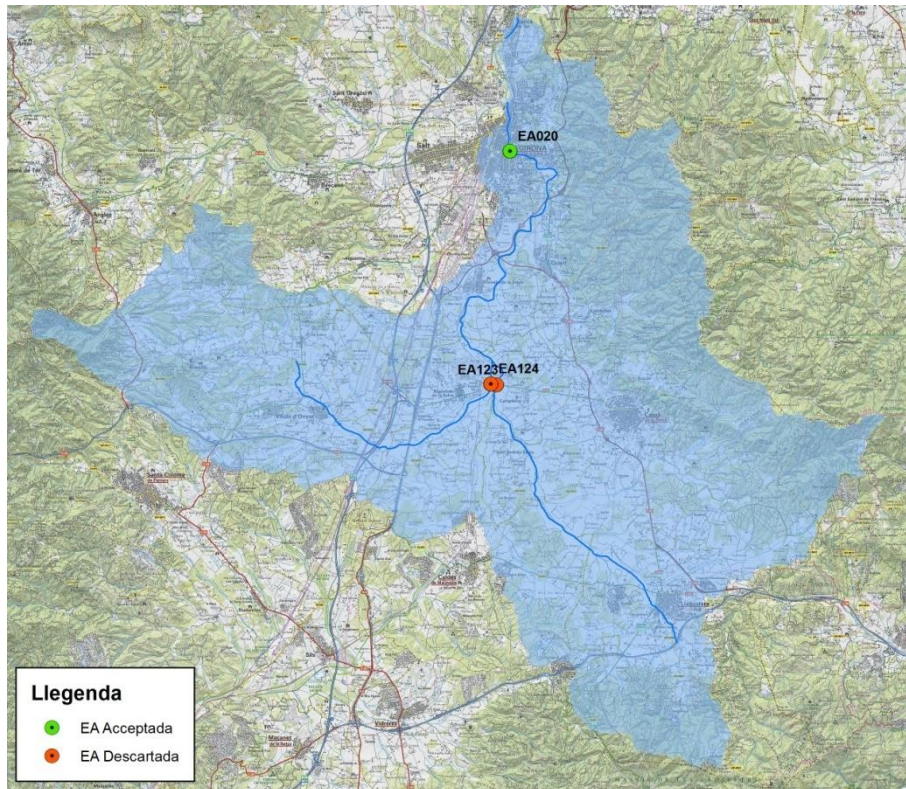


Figura 3. 11 Localització de les estacions d'aforament.

Es realitza el calibratge del model hidrològic per a l'estació d'aforament EA020 tant per un període de retorn de 10 anys com per a 100 anys de forma independent. Es manté la modificació sobre la P_0 associada al període de retorn de 100 anys en el càlcul del cabal de 500 anys. Es té en compte un 5% de referència respecte la diferència entre els resultats de t_{hidro} i el model hidrològic, considerant un 10% com a acceptable.

Es detecta que l'ajust a l'Onyar es comporta de forma contínua i, per tant, es pot fer l'ajust de forma independent per 10 i 100 anys. L'ajust ha consistit en disminuir els valors de P_0 en un 40% pel període de retorn de 10 anys i en un 15% per períodes de retorn de 100 i 500 anys.

3.7.1.7 Síntesi dels resultats

S'obtenen com a resultats uns models que permeten obtenir per a tots el períodes de retorn estudiats, els hidrogrames en qualsevol punt del domini de la conca, mitjançant la integració instantània dels cabals específics calculats. Aquesta integració es pot realitzar sobre els arxius generats en el post-procés del programa Iber, per a cadascuna de les simulacions.

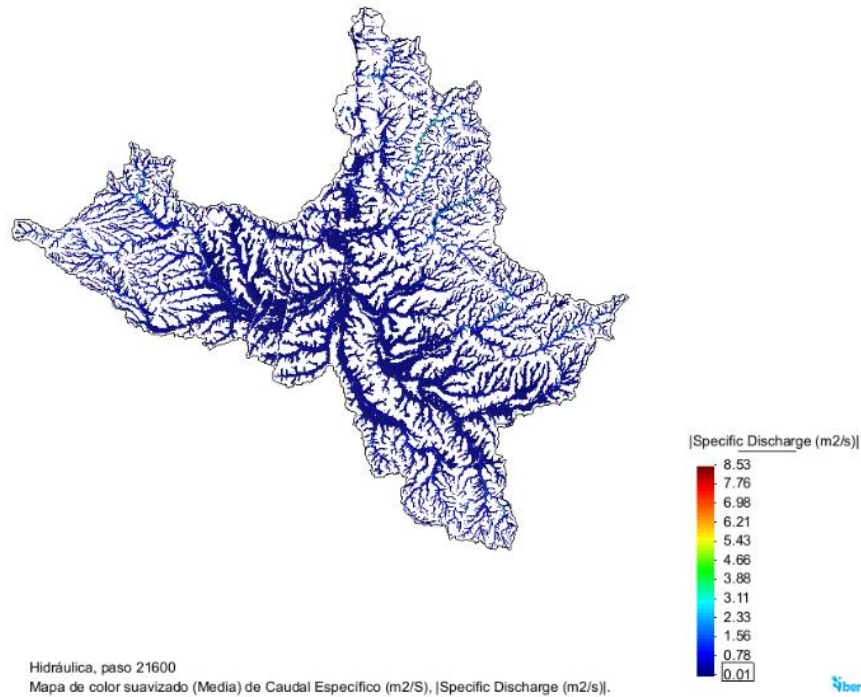


Figura 3. 12 Cabals específics a les conques estudiades per a T_{500} en l'instant $t = 6h$.

La següent taula recull els cabals màxims obtinguts en la ubicació de l'estació d'aforament EA020 i a la sortida del model, per als diferents mètodes de càlcul i període de retorn considerats (10, 100 i 500 anys).

Taula 3. 8: Cabals punta obtinguts a la conca de l'Onyar amb diferents metodologies de càlcul.

Font	Q_{10} [m^3/s]	Q_{100} [m^3/s]	Q_{500} [m^3/s]
EA020	387	924	1414
t_{hidro} (EA020 i sortida model)	252	681	1060
Iber (EA020)	389	911	1551
Iber (sortida model)	340	841	1466

S'ha obtingut una diferència de l'1% entre el resultat del model hidrològic calibrat (Iber EA020) i les dades de l'estació d'aforament tant per al període de retorn de 10 anys com de 100 anys.

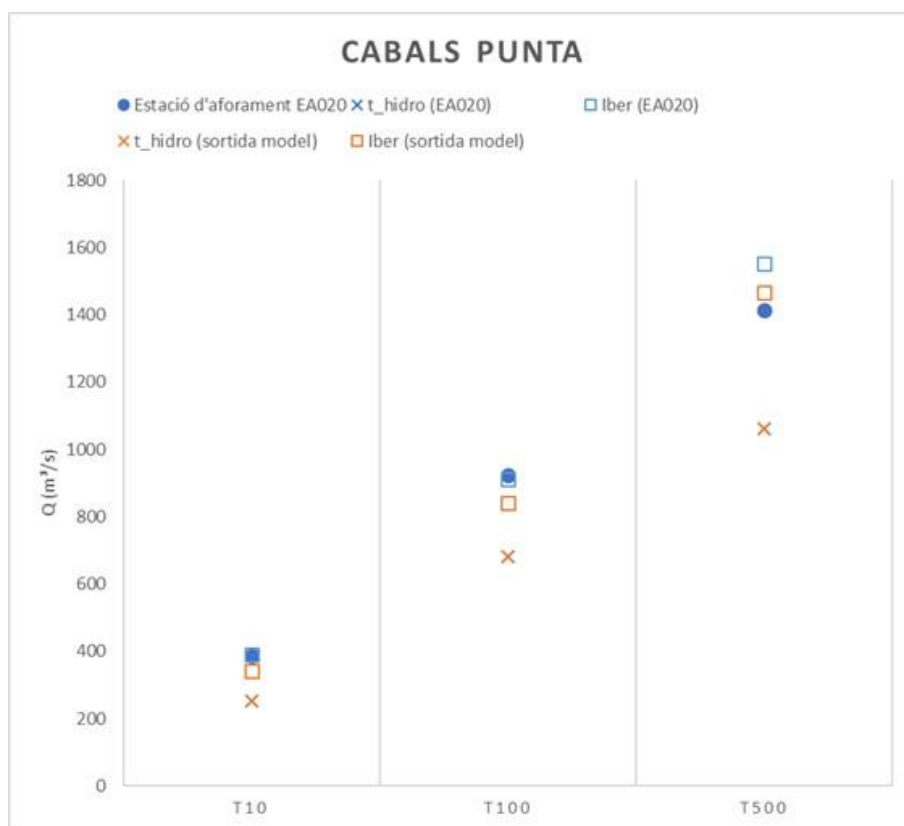


Figura 3. 13 Cabals punta de la conca de l'Onyar obtinguts amb diferents mètodes de càlcul.

Es pot observar com el calibratge a l'estació d'aforament EA020 s'obtenen uns valors molt propers per a períodes de retorn de 10 i 100 anys. Es diferencia més el cabal resultant per al període de retorn de 500 anys essent el resultat d'Iber el major respecte qualsevol altre mètode de càlcul. A la sortida del model els cabals obtinguts en Iber són majors que els cabals tramificats establerts per l'ACA (t_{hidro}). La diferència és major per a pluges amb període de retorn més gran.

En el present estudi s'adopten com a cabals de càlcul els obtinguts mitjançant Iber, per tractar-se d'un model distribuït que caracteritza millor la forma dels hidrogrames resultants i perquè les fonts d'informació emprades per a la caracterització de les conques i les precipitacions s'ajusten millor als criteris emprats per l'ACA.

Els hidrogrames d'avinguda per als diferents períodes de retorn obtinguts del càlcul hidrològic i utilitzats com a condició de contorn en el càlcul hidràulic es mostren en la següent figura. Aquests resultats són els que s'incorporen a l'estudi hidràulic com a condició d'entrada d'aigua.

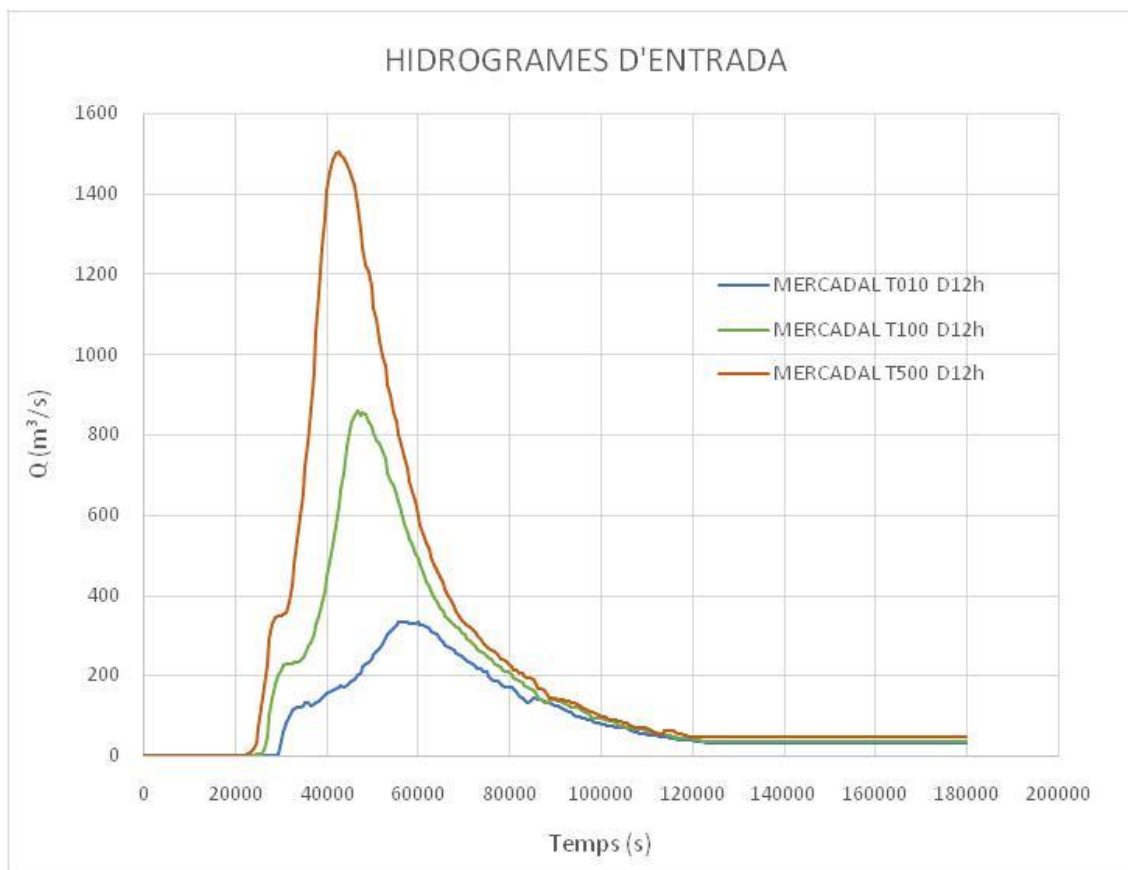


Figura 3. 14 Hidrogrames obtinguts com a resultat de les simulacions hidrològiques i introduïts com a condicions de contorn d'entrada al model hidràulic.

3.7.2 Estudi hidràulic

Per dur a terme l'estudi hidràulic s'ha realitzat una recerca en profunditat per al reconeixement de les estructures que interaccionen amb els cursos fluvials i analitzar l'àmbit de l'estudi hidràulic, per tal d'obtenir tota la informació de suport necessària, tant per a la seva caracterització com per a l'elaboració del model hidràulic.

És important recordar que les simulacions que s'han executat no tenen en compte l'efecte drenant de la xarxa de sanejament del municipi de Girona, per això en les zones urbanes que s'identifiqui un calat d'inundació baix s'estarà sobreestimant l'efecte de la inundació.

3.7.2.1 Geometria

Les fonts d'informació cartogràfica de base emprades per a l'elaboració del model hidràulic de l'àmbit d'estudi han estat les següents:

- MDT 2x2 de l'ICGC (MET-2 v1.0, data vol LiDAR 2010)
- Aixecament topogràfic de l'endegament de l'Onyar a Girona
- Cartografia de detall de Girona (topografia 1:500, versió 3 DGN – DWG, 2015)
- MCSC (4a Edició, 2009)

S'ha pres com a base el MDT 2x2, fent una anàlisi per comprovar la seva validesa i coherència en tot el domini de treball. En base a la informació cartogràfica de detall i a la informació disponible, s'han detectat algunes zones corresponents a la llera que no eren representatives, per això s'ha modificat i actualitzat el MDT de base per a la realització de les simulacions.

El MDT 2x2 tampoc representava correctament les limitacions de l'endegament. En conseqüència, a partir de les dades obtingudes de l'aixecament topogràfic de la llera de l'Onyar al seu pas per Girona s'ha definit de nou tot l'endegament mitjançant el programa de càlcul HEC-RAS. L'aixecament topogràfic defineix tot l'endegament de l'Onyar, des de el seu inici al carrer d'Ullastret fins a la seva desembocadura al Ter, amb un total de 20 seccions representades. Amb el model HEC-RAS s'ha pogut definir la continuïtat d'aquestes seccions en tot el seu recorregut i s'han ajustat els contorns de l'endegament amb el MDT 2x2. Finalment, les zones on la unió entre l'endegament i el MDT no acabava de ser coherent i zones on el MDT definia depressions en àmbit urbà s'han corregit amb la cartografia de detall de Girona.

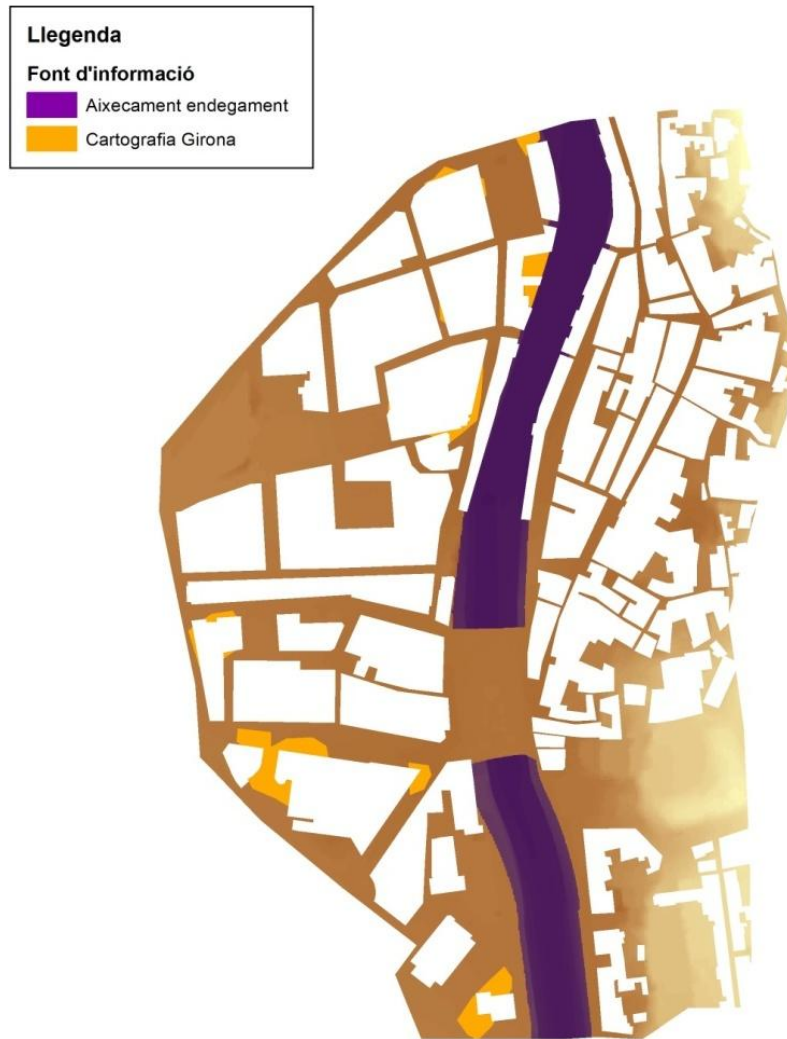


Figura 3. 15 Àmbit del model hidràulic. MDT 2x2 de l'ICGC i les modificacions realitzades.

La malla de càlcul generada té les següents característiques:

- Tipus de malla: no estructurada
- Geometria dels elements: triangular
- No es representen les edificacions, que queden extretes del domini de càlcul
- S'ha treballat mitjançant capes de Iber, representant les diferents zones de l'àmbit, variant la mida de referència dels elements de malla (dimensió màxima):

- Llera. Corresponent a l'endegament de l'Onyar. Elements de 15 metres aigües amunt i aigües avall del soterrament de la plaça Catalunya, la resta són elements de 5 metres.
- Coberta. Corresponent al pont de les Peixateries Velles sobre l'Onyar. Elements de 5 metres.
- Marges. Corresponent a la resta del domini, amb una mida d'element màxima de 15 metres.



Figura 3. 16 Mides de referència (màximes) dels elements de la malla de càlcul emprada en el model hidràulic de l'àmbit.

La malla de càlcul resultant té un total de 6.471 nodes i 9.275 mil elements.



Figura 3. 17 Vista de la malla de càlcul emprada en el model hidràulic de l'àmbit.

La definició de la rugositat i les pèrdues d'energia de la llera s'ha fet delimitant planimètricament en base a la cartografia disponible subdividint l'àmbit en diversos trams i determinant el coeficient de rugositat de Manning, n , en base a la informació disponible. Per establir els coeficients adequats s'ha seguit el procediment desenvolupat per Cowan (Arcement et al., 1989) i com a valors de contrast s'han usat els recomanats per Ven te Chow per cadascun dels trams (Chow, 2004).

En el tram aigües amunt del soterrament s'ha assumit un coeficient de rugositat de Manning de $n = 0,020$ ja que es tracta d'un tram de l'endegament on la llera és de formigó i conforma una geometria ben definida. En el tram d'aigües avall, tot i que també forma part de l'endegament, la llera és de terra amb cert grau d'irregularitat i un lleugera variació de la secció transversal adoptant-se un coeficient de $n = 0,024$.

Per a la resta d'àmbit, s'ha determinat un coeficient de rugositat de Manning variable en l'espai, basat en la classificació present en el MCSC i assignant a cada grup un coeficient de rugositat representatiu de la seva resistència al flux.

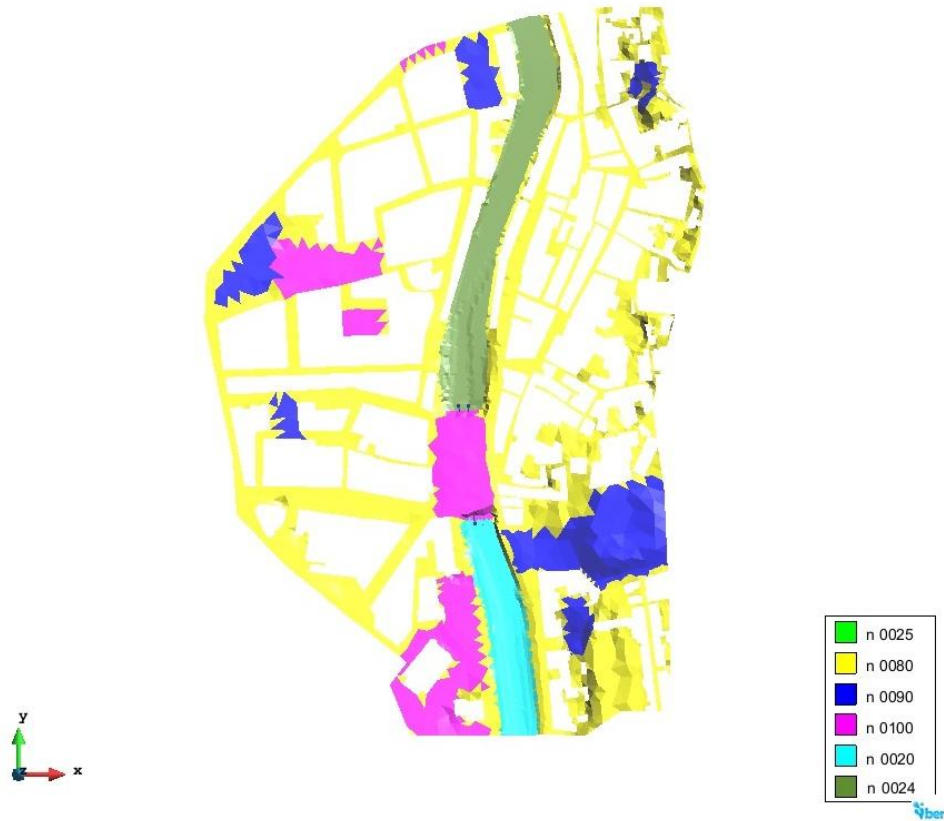


Figura 3. 18 Classificació dels coeficients de rugositat de Manning aplicats en el model hidràulic de l'àmbit.

S'han identificat un total de 5 estructures transversals al flux que afecten directament al comportament hidràulic de les avingudes. A continuació es presenta una taula amb la relació d'estructures identificades i la seva representació en les simulacions.

Taula 3. 9: Estructures modelitzades en l'àmbit d'estudi.

Codi Iber /CIO	X _{UTM} [m]	Y _{UTM} [m]	Descripció	Representació
170KV060/11993	485411	4647588	Passera de l'Alferes Huarte	<i>Pont</i>
170E0011 / 4950	485368	4647764	Soterrament del riu Onyar a la plaça Catalunya	<i>Culvert x 4</i>
170KV061 / 11994	485367	4647875	Pont de Pedra	<i>Pont</i>
170KV062 / 11995	485416	4648076	Pont de les Peixateries Velles	<i>Coberta</i>
170KV063 / 11996	485450	4648173	Pont de Sant Agustí	<i>Pont</i>

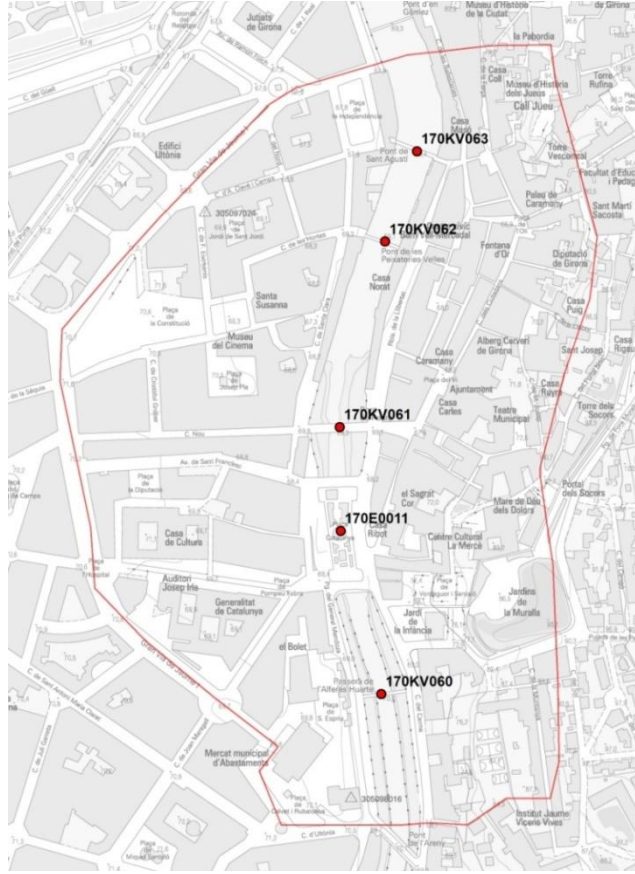


Figura 3. 19 Localització i identificació de les estructures simulades.

En la versió 2.5 de Iber disponible en xarxa s'ha detectat que no es podien introduir correctament les *cobertes* així doncs s'han introduït com a *ponts en malla*.

En alguns elements dels ponts també s'ha detectat que no es complia la condició mínima del número de Courant, C , ja que l'interval de temps es reduïa molt i no permetia continuar els càlculs. La reducció de l'interval de temps es donava en elements petits amb velocitats i calats molt grans. En aquells pocs elements on no es complia aquesta restricció s'han suprimit les condicions internes del pont.

$$C = \frac{v \cdot \Delta t}{\Delta x} \quad (3.16)$$

$$\Delta t \leq \min_{i,l} \frac{l_{i,l}}{\sqrt{2} \sqrt{y^2 + v^2 + c}} \quad (3.17)$$

On, v , és la velocitat; Δt , és l'interval de temps; Δx , és l'interval d'espai; $l_{i,l}$, és la longitud d'un costat de l'element de càlcul; y , és el calat i c , és la celeritat expressada com $\sqrt{g \cdot y}$.

A l'Annex D s'hi inclou la parametrització de les estructures llistades anteriorment.

3.7.2.2 Condicions de contorn i condicions inicials

Com a condicions de contorn d'entrada s'introdueixen els hidrogrames obtinguts com a resultat de les simulacions hidrològiques distribuïdes, descrites anteriorment, per a cadascun dels períodes de retorn.

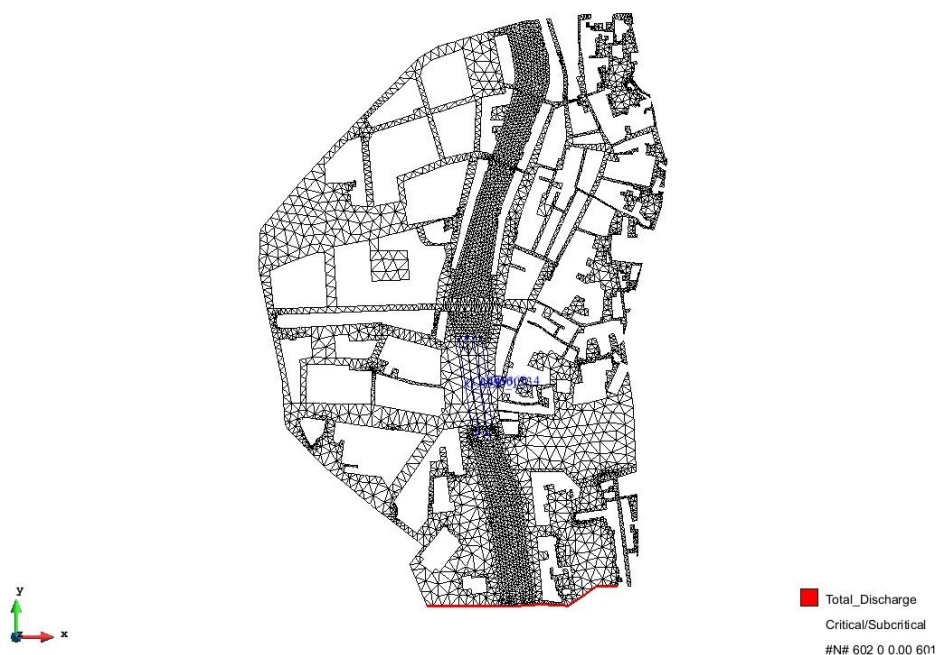


Figura 3. 20 Localització de la condició de contorn d'entrada introduïda al model hidràulic.

S'ha considerat únicament l'entrada de l'endegament del riu Onyar en la zona sud de l'àmbit atès que no hi ha altres cursos fluvials que conflueixin a l'àrea d'estudi. Per tant, s'introdueix l'hidrograma d'entrada corresponent al riu Onyar en la secció hidràulica de l'endegament a l'alçada del carrer Ultònia. Els hidrogrames d'entrada són els corresponents als obtinguts en el resultat de l'estudi hidrològic.

S'han considerat condicions de sortida crítica en el contorn de la malla de càlcul, de forma que s'evita l'acumulació d'aigua als contorns, considerant que l'aigua marxa cap als carrers confrontants de la resta del municipi de Girona.

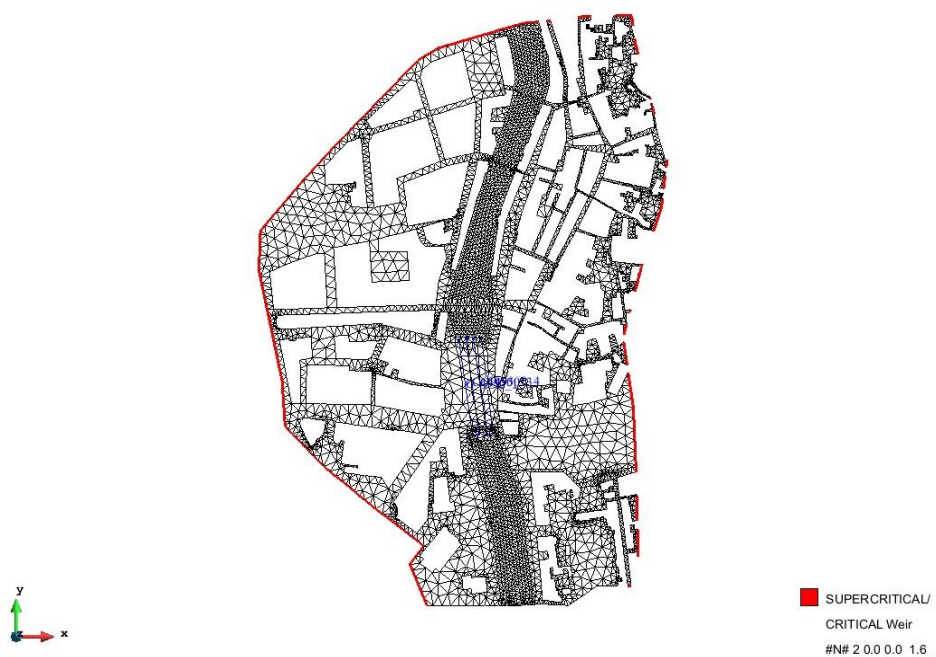


Figura 3. 21 Localització de la condició de contorn de sortida introduïda al model hidràulic.

S'ha establert com a condició de contorn inicial calat zero a tot l'àmbit de càlcul.

3.7.2.3 Paràmetres de càlcul

Els principals paràmetres adoptats per a totes les simulacions han estat els següents:

- Temps màxim de simulació: 86.400 s (1 dia)
- Interval de resultats: 600 s
- Δt màxim: 1 s
- Esquema numèric de càlcul: 1r ordre

4. RESULTATS DELS MODELS HIDRÀULICS

4.1 Model hidràulic

Per estudiar el comportament hidràulic de la inundació en zona urbana, s'ha usat l'eina d'Iber original versió 2.5 sense considerar l'efecte dels flotants ni aplicar cap tipus de modificació al mòdul. Fruit dels resultats de les simulacions del model hidràulic, s'han generat els ràsters de màxims de calat i velocitat, així com del cabal específic.

A continuació es mostren els mapes on es representen els resultats obtinguts.

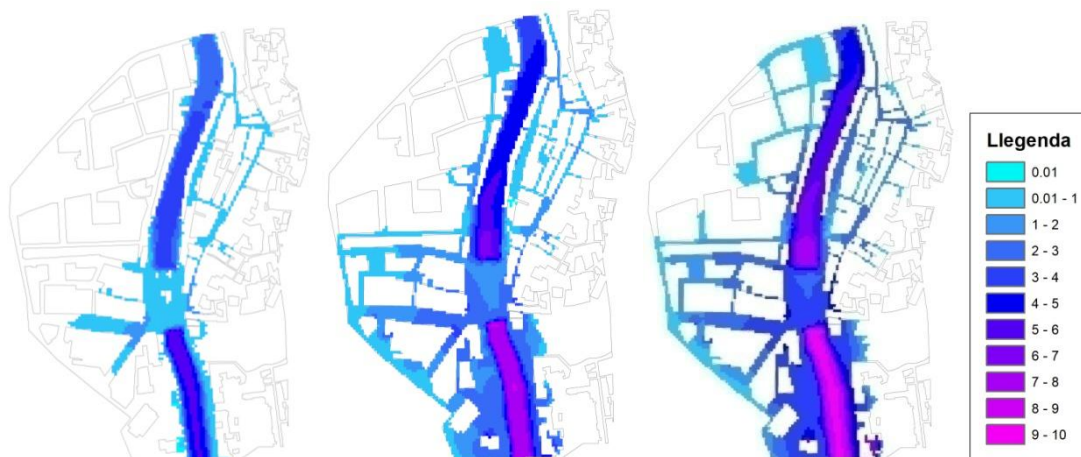


Figura 4.1 Mapes de calats per T010, T100 i T500 (d'esquerra a dreta) obtinguts amb Iber.

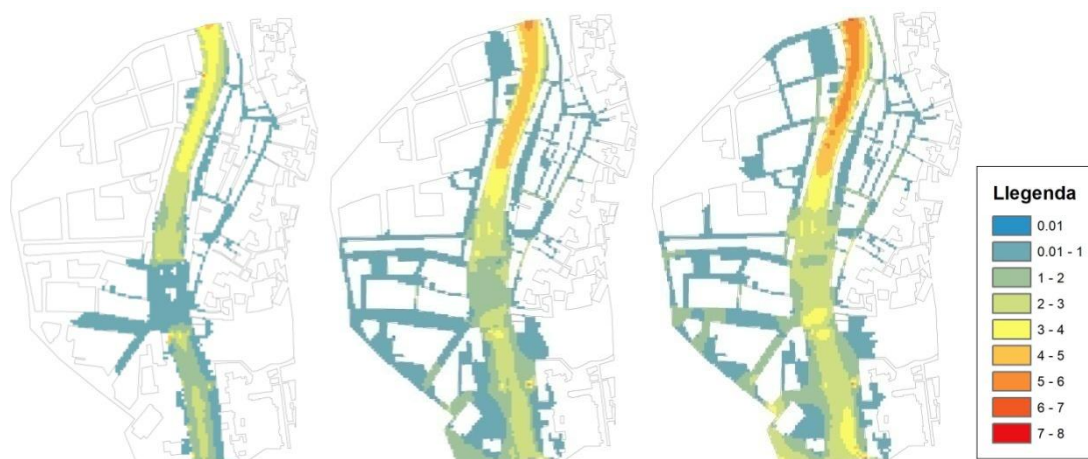


Figura 4.2 Mapes de velocitats per T010, T100 i T500 (d'esquerra a dreta) obtinguts amb Iber.

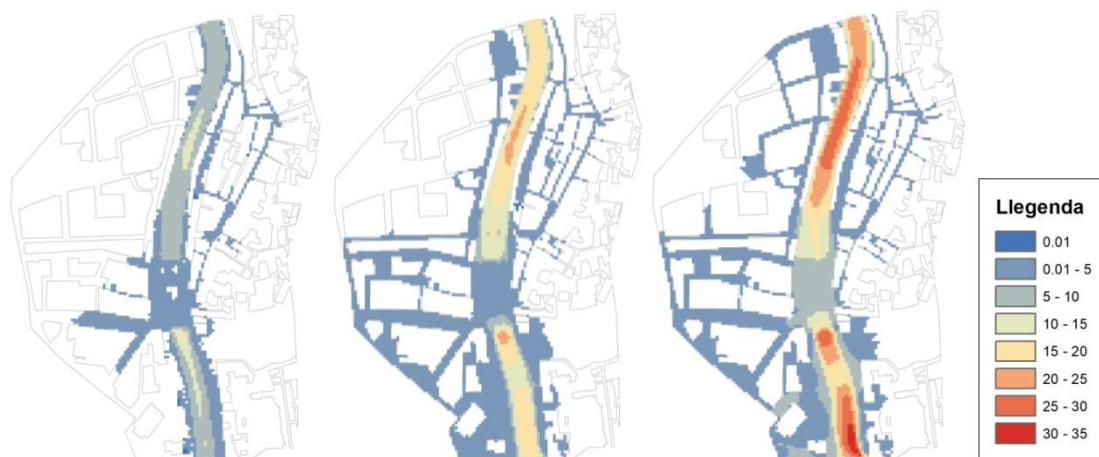


Figura 4.3 Mapes de cabal específic per T010, T100 i T500 (d'esquerra a dreta) obtinguts amb Iber.

Es recullen en la següent taula els valors màxims dels paràmetres necessaris per determinar la perillositat de les inundacions associades a cada període de retorn.

Taula 4.1: Valors màxims dels resultats d'Iber.

Període de retorn	y_{\max} [m]	v_{\max} [m/s]	$(y \cdot v)_{\max}$ [m ² /s]
T010	5,83	5,29	17,32
T100	8,35	5,61	24,59
T500	9,77	6,13	33,81

És important destacar com per a una avinguda amb un període de retorn de 10 anys, és a dir, amb una probabilitat del 10% que succeeixi en un any, el soterrament de la Plaça Catalunya no funciona correctament i produeix el desbordament de l'Onyar a la ciutat de Girona. Els calats que es generen a l'endegament són superiors a 5,7 m, que és el gàlib màxim del soterrament. La inundació afecta a carrers pacífics i comercials del Barri Vell i els carrers que voltgen l'Espai Santa Caterina. Els ponts que hi ha aigua avall del soterrament fan de connexió amb la zona inundada pel desbordament de la Plaça Catalunya però no són punts d'origen de la inundació urbana. En l'anàlisi hidràulic, s'observa com els ponts funcionen correctament i no produeixen gairebé afectació als carrers del voltant.

Per a períodes de retorn majors, la taca d'inundació es fa extensiva fins als límits de l'àmbit i afecten al carrers confrontants que no forment part del present estudi. S'observa com els calats i les velocitats més grans es produeixen a l'endegament. La llera d'aigua amunt de la Plaça Catalunya presenta els calats més elevats ja que l'aigua no circula bé pel soterrament i suposa una barrera al seu pas. Les velocitats majors es registren aigua avall de l'endegament, a la zona de la llera, donat que les estructures existents no s'oposen al corrent de l'aigua i pot fluir lliurement cap a la sortida de l'àmbit.

Les condicions de contorn de sortida fixades –calat crític en els contorns– afavoreixen la sortida de l'aigua de l'àmbit per evitar l'acumulació de l'aigua. Per a la realització de l'estudi hidràulic s'ha suposat que l'endegament està totalment sec. Tanmateix, en general, a l'Onyar sempre hi circula cabal, encara que en algunes èpoques de l'any sigui petit. S'ha optat per simplificar les condicions de contorn de l'aigua i facilitar el seu flux per veure l'efecte en els flotants però una opció més acurada del model hidràulic seria la imposició d'una corba d'aforament (corba cota-cabal) en la sortida de l'endegament de l'Onyar. Aquesta opció hagués generat una lleugera barrera al pas de l'aigua que es traslladaria des del límit superior cap aigua amunt, traduint-se en calats més elevats i velocitats més moderades.

4.2 Model de transport de troncs

Abans d'iniciar el transport de vehicles, s'ha volgut fer una simulació amb el mòdul d'IberWood per disposar d'uns càlculs preliminars del transport de flotants. S'ha suposat que els troncs es troben inicialment en la mateixa ubicació i amb la mateixa orientació que els vehicles. Anàlogament, s'han classificat els troncs en quatre categories amb característiques semblants a les dels vehicles. D'aquesta manera, es pretén comprovar l'alteració de la mobilitat entre els diferents elements.

En aquest cas, s'ha establert que la densitat serà constant en tot moment. Les variables associades a l'*altura lliure*, el *calat de flotació* i el *diàmetre de les rodes* del mòdul de vehicles, corresponents a *densitat final*, *coeficient k* i *coeficient d'arrels* en el mòdul de fusta, es consideren nul·les en aquesta simulació.

Les característiques associades a cadascun dels grups de troncs es recullen en la següent taula:

Taula 4.2: Classificació i característiques dels troncs introduïts al mòdul IberWood.

Tipologia de tronc	Longitud [m]	Diàmetre [m]	Densitat [kg/m ³]
Petit	4,20	0,40	700
Mitjà	4,60	0,50	900
Gran-I	6,35	0,60	1100
Gran-II	10,55	0,60	1100

A partir d'aquestes condicions, s'ha pogut executar la primera aproximació del moviment de flotants en zona urbana. Els resultats de calats i velocitats obtinguts en el càlcul del mòdul d'IberWood es mostren a continuació:

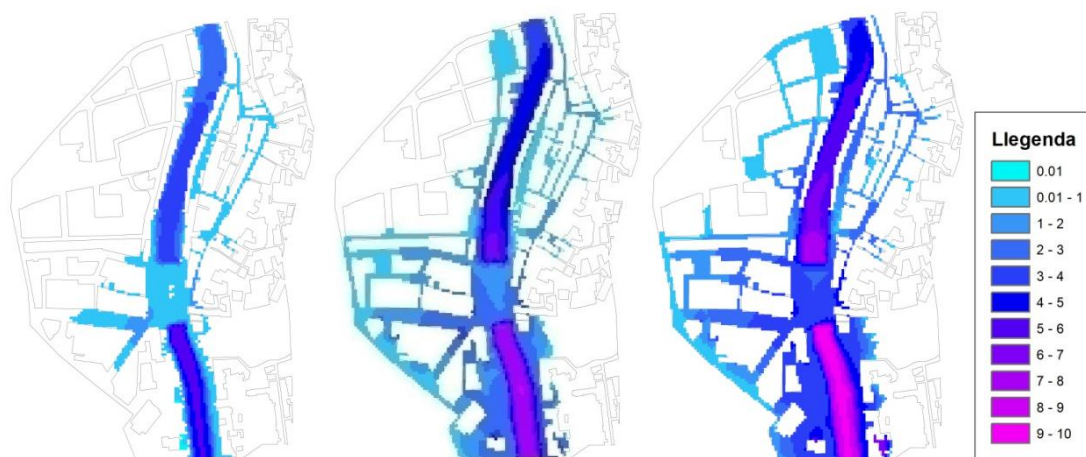


Figura 4.4 Mapes de calats per T010, T100 i T500 (d'esquerra a dreta) obtinguts amb IberWood.

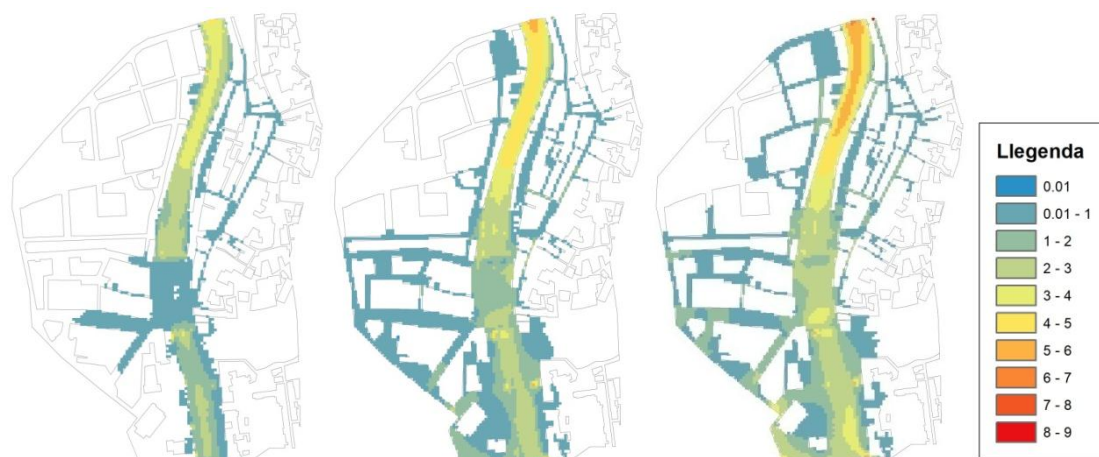


Figura 4.5 Mapes de velocitats per T010, T100 i T500 (d'esquerra a dreta) obtinguts amb IberWood.

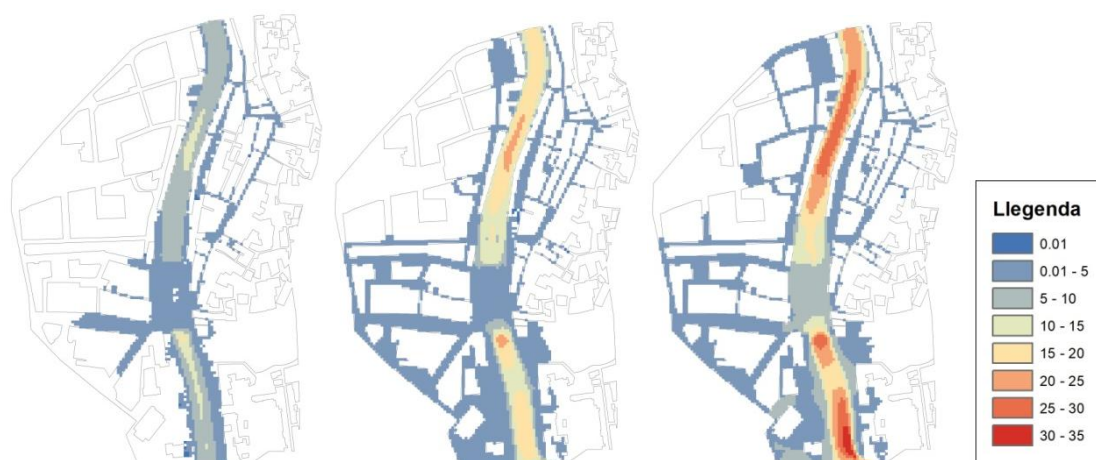


Figura 4.6 Mapes de cabal específic per T010, T100 i T500 (d'esquerra a dreta) obtinguts amb IberWood.

En general, s'ha observat que els calats són bastant semblants als obtinguts amb el mòdul hidràulic, però les velocitats han augmentat lleument en tot l'àmbit, sense arribar a superar gaire els valors màxims obtinguts en el mòdul hidràulic. Aquestes lleus variacions afecten també al cabal específic amb resultats més elevats.

Taula 4.3: Valors màxims dels resultats d'IberWood.

Període de retorn	y_{\max} [m]	v_{\max} [m/s]	$(y \cdot v)_{\max}$ [m ² /s]
T010	5,83	5,29	17,32
T100	8,36	5,48	24,19
T500	9,80	8,33	33,80

Per un període de retorn de T500, s'ha observat un valor màxim de velocitat bastant superior al obtingut en el mòdul hidràulic. Es passa d'una velocitat màxima de 6,13 m/s en el mòdul hidràulic a una velocitat de 8,33 m/s en el mòdul de fusta. Es detecta que el màxim es produeix en l'instant $t=35.400$ s de càlcul, en un contorn de la geometria del model coincidint amb un element amb condició de sortida crítica. Es detecta que és un element aïllat amb concentració de velocitats elevades i, per tant, el valor de velocitat màxim no és representatiu del comportament de l'aigua en aquesta zona.

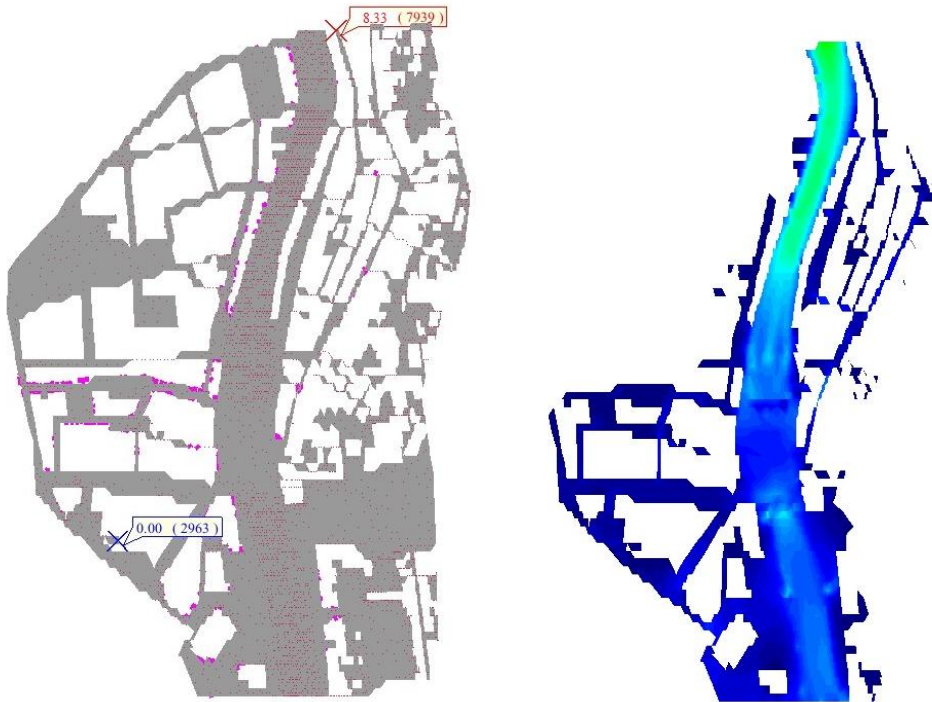


Figura 4.7 Ubicació del punt on es produeix una concentració de velocitats elevades i mapa de velocitats T500 en l'instant $t=35400$ s.

4.3 Model de transport de vehicles

Mitjançant les modificacions aplicades al mòdul d'IberWood definides en els apartats anteriors, es realitzen les simulacions de l'efecte dels vehicles en inundació urbana. Els resultats de calats i velocitats es mostren a continuació.



Figura 4.8 Mapes de calats per T010, T100 i T500 (d'esquerra a dreta) obtinguts amb IberVehicle.

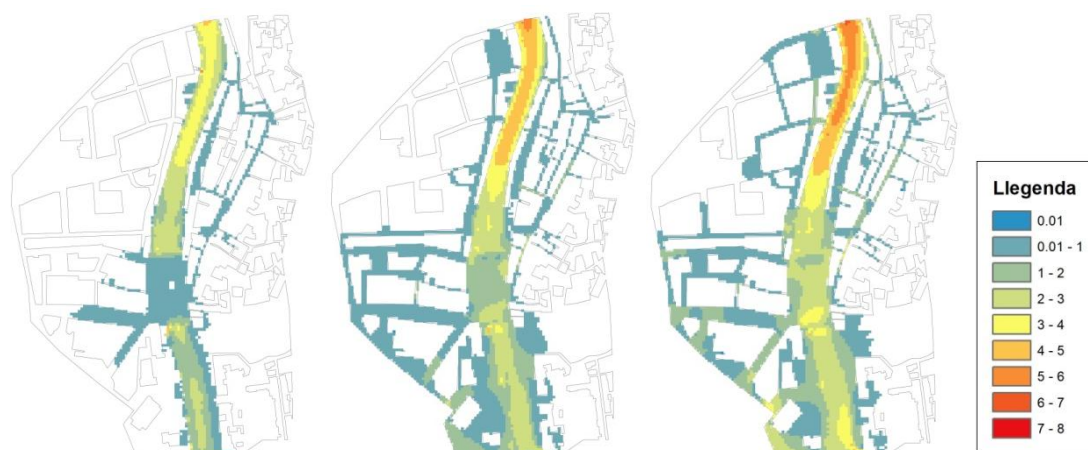


Figura 4.9 Mapes de velocitats per T010, T100 i T500 (d'esquerra a dreta) obtinguts amb IberVehicle.

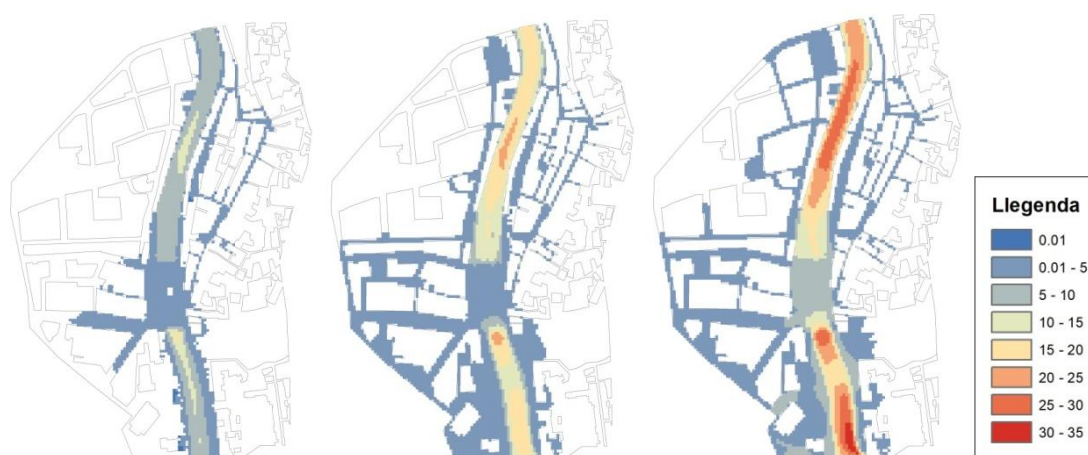


Figura 4.10 Mapes de cabal específic per T010, T100 i T500 (d'esquerra a dreta) obtinguts amb IberVehicle.

S'observa una tendència semblant a l'obtinguda amb el mòdul de fusta respecte al model hidràulic. En general, els calats es mantenen més o menys estables en l'àmbit i les velocitats augmenten lleugerament però, sense suposar un important impacte ni una gran diferència respecte a la simulació sense l'efecte dels flotants.

Es mostra la taula amb els valors màxims de cada variable:

Taula 4.4: Valors màxims dels resultats d'IberVehicle.

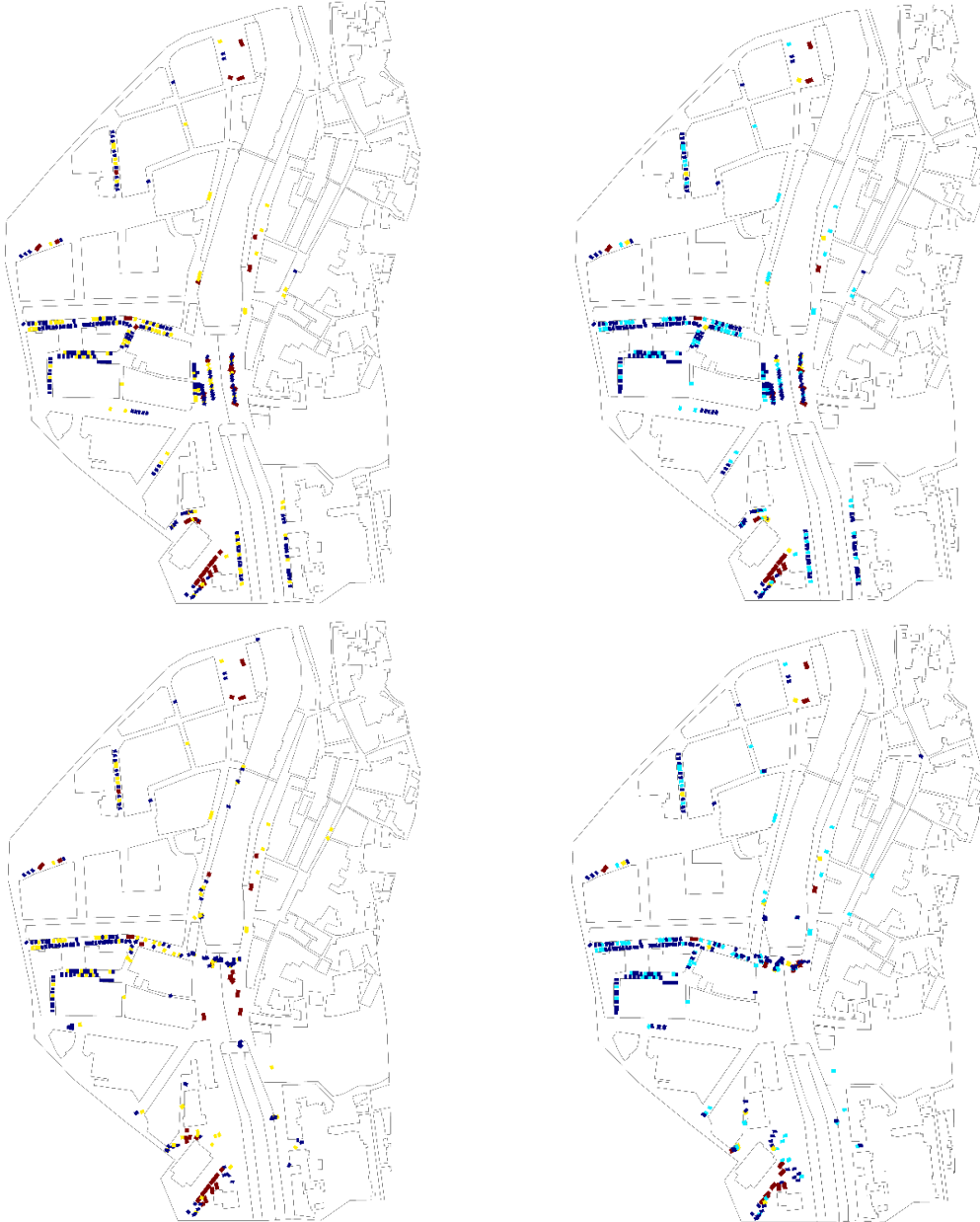
Període de retorn	y_{\max} [m]	v_{\max} [m/s]	$(y \cdot v)_{\max}$ [m ² /s]
T010	5,84	5,28	17,32
T100	8,36	5,38	24,16
T500	9,79	6,19	33,82

En els tres models generats, s'ha pogut veure com la taca d'inundació és molt semblant, a més que els valors màxims de les variables que afecten a la perillositat no són gaire diferents. Un primer raonament que es pot extreure és que, des d'una perspectiva global, l'efecte dels flotants en una inundació és pràcticament nul. És necessari fer un estudi més focalitzat i realitzar la comparativa corresponent de perillositat per avaluar més específicament les variables, així com l'efecte local que produeixen els elements urbans.

4.4 Elements flotants

A partir de la simulació preliminar amb els elements de fusta i la simulació de l'efecte dels vehicles, s'ha fet una comparativa entre ambdós models per avaluar el moviment dels flotants i observar les dinàmiques generades segons cada tipus d'element.

En les següents figures, es mostra la ubicació dels elements fusta i dels elements vehicle per al període de retorn de 500 anys en diferents moments de l'episodi d'avinguda.



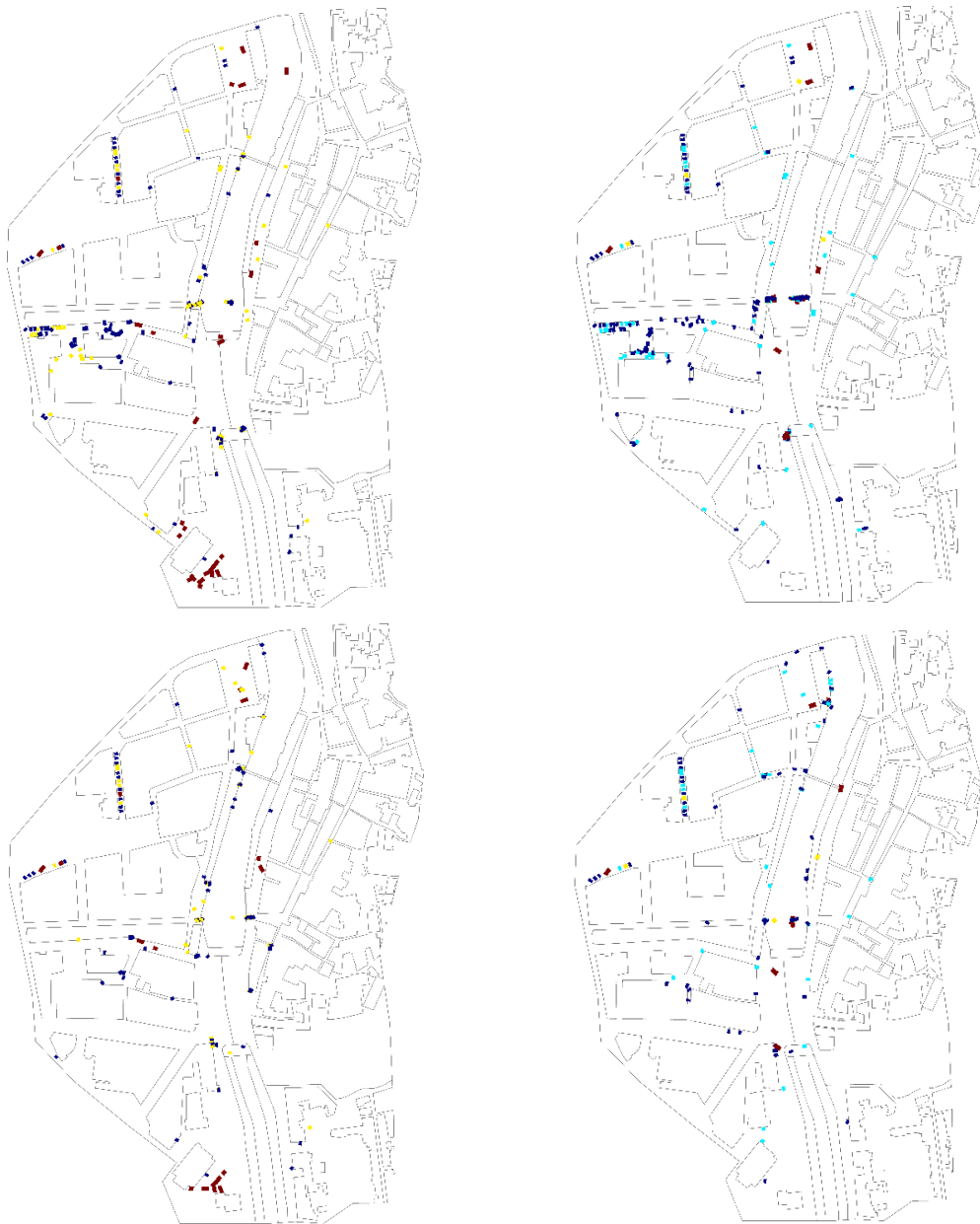


Figura 4.11 Ubicació dels troncs (esquerra) i dels vehicles (dreta) (*) en els passos de temps (de dalt a baix) $t = 600$ s, $t = 33000$ s, $t = 36000$ s, $t = 86400$ s.

(*) Elements troncs: color marró correspon a categoria Gran-I i Gran-II, color groc a categoria Mitjà i color blau fosc a Petit.

Elements vehicles: color marró correspon a categoria Gran-II, color groc a categoria Gran-I, color blau clar a Mitjà i color blau fosc a Petit.

S'observa com els vehicles són més susceptibles al moviment que els troncs i que tendeixen a agrupar-se al voltant de les estructures i els edificis. Es pot observar com en l'instant $t = 36000$ s els vehicles queden atrapats en el Pont de Pedra d'aigua avall del soterrament de la Plaça Catalunya. En l'últim instant, es pot apreciar, tant en el cas dels troncs com en el dels cotxes, que el nombre d'elements que resten dins l'àmbit és inferior a l'inicial. Això es deu a que molts elements han sortit de l'àmbit, o bé, per carrers confrontants, o bé, perquè han caigut a la llera i el mateix flux de l'aigua de l'endegament els ha portat aigua avall. Alguns elements es trobaven fora de la taca d'inundació i, per tant, en ambdós casos s'han mantingut en la seva posició en estat sec.

Com s'ha vist en els resultats de calats i velocitats, l'endegament desborda per avingudes de període de retorn de 10 anys i, per tant, els nivells que s'assoleixen en la llera són d'altures d'aigua molt elevades i registres de velocitats més grans. Aquests resultats representen un grau de perillositat molt gran en la llera de l'Onyar i, tal i com es mostra en les simulacions, els elements que cauen a l'endegament són ràpidament arrossegats per l'avinguda.

En les simulacions realitzades, s'ha indicat que l'interval de temps de resultats fos de 600 s, és a dir, els resultats es generen cada 10 minuts. S'ha definit aquest paràmetre perquè, per a un temps total de simulació de 86.400 s (1 dia), el nombre de resultats per un interval menor és tan gran que no es poden mostrar els resultats en el post-procés d'Iber. Tanmateix, amb un interval de 10 minuts, la variació del moviment dels elements és prou significativa i es fa difícil fer el seguiment de cada element, així com comprovar la seva trajectòria.

5. DISCUSSIÓ DELS RESULTATS

5.1 Nivell de perillositat

Aplicant la metodologia proposada per l'ACA per a l'obtenció dels mapes de perillositat descrita en els apartats anteriors i mitjançant els resultats obtinguts de calat, velocitat i cabal específic per tots els períodes de retorn s'ha pogut elaborar l'envolupant de perillositat per a cadascun dels models generats. A continuació, es mostren els mapes dels diferents rangs de perillositat, tant pel criteri establert per l'ACA, com el proposat per Russo (2009) i Martínez (2016).

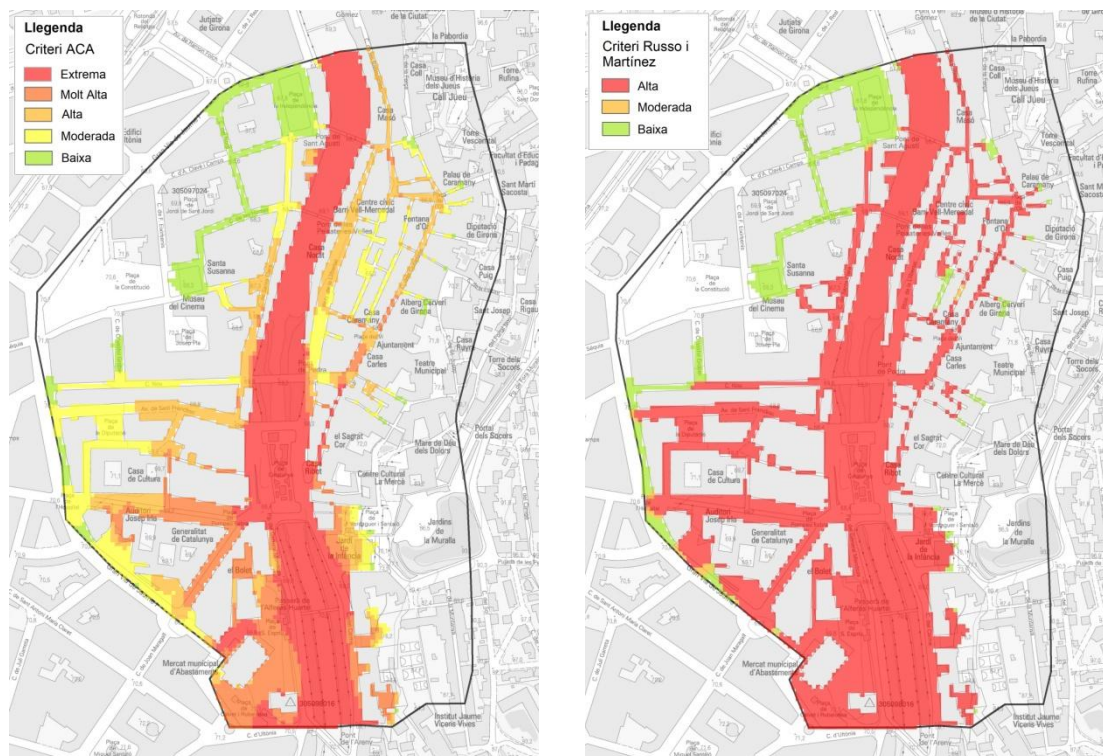


Figura 5.1 Mapa de perillositats resultants del model d'Iber.

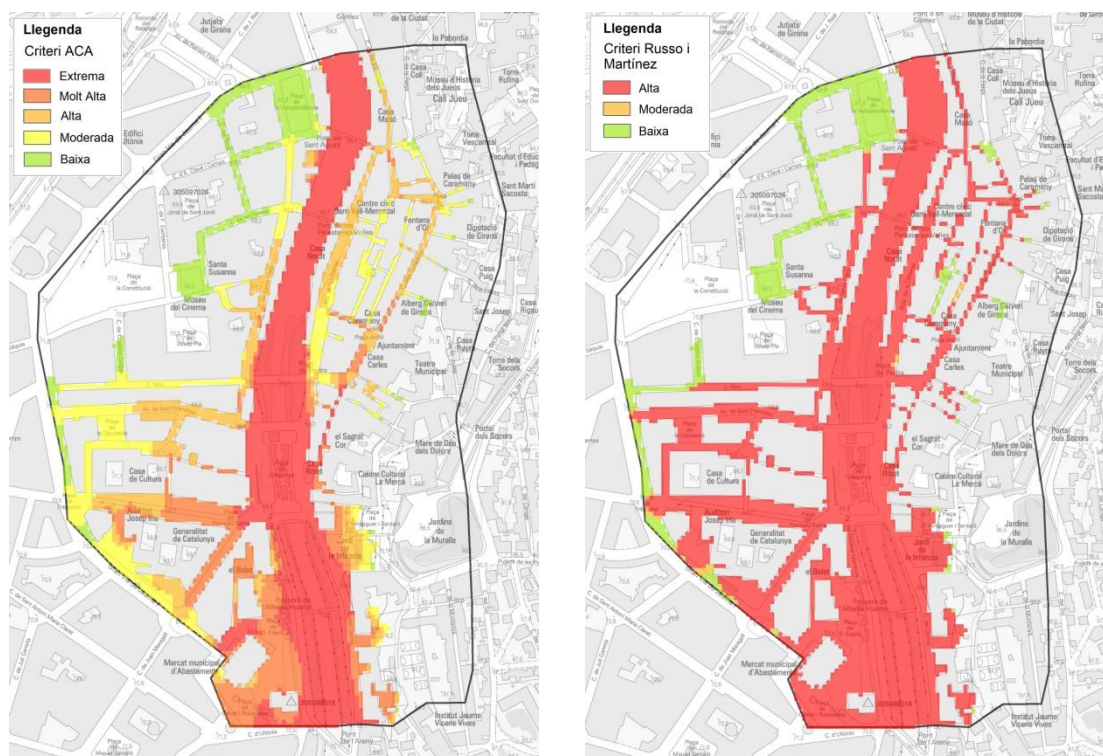


Figura 5.2 Mapa de perillositats resultants del model d'IberWood.

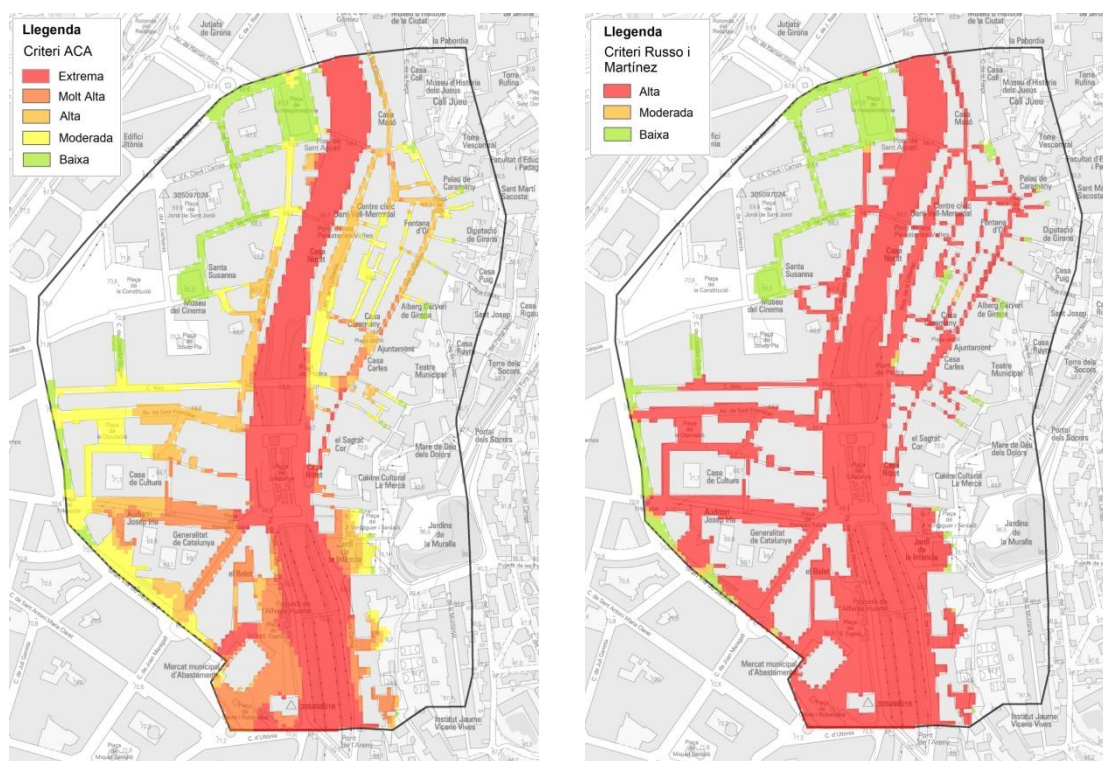


Figura 5.3 Mapa de perillositats resultants del model d'IberVehicle.

El primer que es verifica és que el criteri proposat per Russo (2009) i Martínez (2016) és efectivament més restrictiu que el proposat per l'ACA. S'observa com l'àrea de perillositat alta abasta una zona més gran que la de l'ACA, fins i tot, si es comptabilitza el rang de perillositat alta com la suma dels rangs de perillositat *Extrema*, *Molt Alta* i *Alta*.

A simple vista, sembla que tots els models resulten el mateix grau de perillositat. Tal i com s'ha vist en els resultats de calats i velocitats, les variacions no són gaire significatives, per la qual cosa es podia comprendre que no seria suficient com per canviar de rang de perillositat. Tanmateix, s'avalua la diferència de les variables hidràuliques i dels mapes de perillositat dels diferents models per detectar zones localitzades de canvis en la perillositat.

5.2 Avaluació de la perillositat

Entre les simulacions amb flotants i les simulacions hidràuliques no s'ha trobat cap variació de calats superior a 40 cm, per tant, els canvis que hi puguin haver en la perillositat dependran de les variacions en la velocitat del flux i dels cabals específics que es generaran.

A continuació, es mostra la diferència de la perillositat entre els diferents models per a cadascun dels criteris d'avaluació. Els colors vermells i taronges representen un agreujament de la perillositat respecte a la simulació hidràulica sense flotants, mentre que els colors verds representen, a priori, una millora.

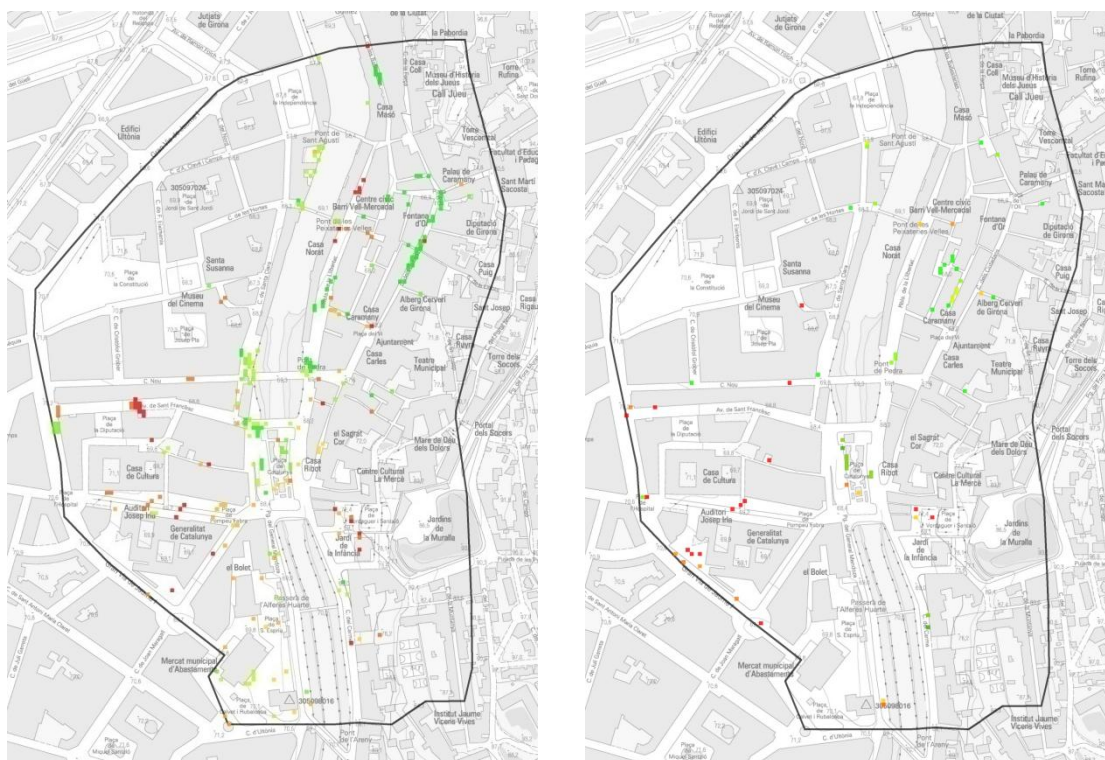


Figura 5.4 Diferència de perillositat entre model IberWood i model Iber segons criteri ACA (esquerra) i Russo i Martínez (dreta).



Figura 5.5 Diferència de perillositat entre model IberVehicle i model Iber segons criteri ACA (esquerra) i Russo i Martínez (dreta).

Si s'observen els mapes de diferència de perillositat segons els criteris de l'ACA, es pot veure com la gran concentració de vehicles que hi ha a l'avinguda de Sant Francesc es tradueix en un augment de la perillositat molt puntual que s'agreuja en el cas del troncs. Els vehicles són transportats ràpidament i surten de l'àmbit del model hidràulic per la zona oest, per això, no es nota tant el seu efecte hidràulic.

Es destaca l'afectació que es fa en la Rambla Llibertat. Aquesta és una zona per vianants i no està permesa la circulació de vehicles. S'han disposat alguns vehicles grans per interpretar l'acció de càrrega i descàrrega de mercaderies que es dona cada dia. Aquests vehicles han augmentat considerablement l'efecte de la inundació i han suposat un agreujament de la perillositat en tot el carrer.

El mateix passa de manera molt puntual en la Plaça de la Independència, on l'episodi d'avinguda ha estat capaç de moure els vehicles però no els troncs i, per això, es produeix una greu afectació a la zona nord de l'àmbit però molt concentrada.

Si es té en compte el criteri de Russo (2009) i Martínez (2016), es destaca una zona on s'augmenta la perillositat al carrer Nou amb el creuament amb el carrer de Cristòfol Grober. L'existència de vehicles en el creuament del mateix carrer Nou amb el carrer de Santa Clara podria ser la motivació de la modificació de la hidràulica en aquesta zona i que afecti aigües avall del carrer Nou.

L'existència de zones verdes podria indicar, a priori, una disminució de la perillositat respecte a la hidràulica de la inundació sense l'efecte dels flotants. No obstant, aquests zones s'ubiquen a prop de zones on hi ha elements urbans. Es poden donar, doncs, dues situacions:

1. L'existència de vehicles en un carrer, per exemple els vehicles de la Plaça del Vi que es transporten cap al carrer dels Ciutadans, obliga a l'aigua a buscar rutes de pas alternatives. Els vehicles suposen una barrera i provoquen l'acumulació d'aigua cap

aigua amunt i altres carrers confrontants. Això, provoca l'augment de calat i la disminució de la velocitat. Com s'ha comentat anteriorment, la variació de calat és relativament poc significativa (variacions menors a 40 cm), per tant, provoca la disminució de la velocitat i la consegüent reducció de la perillositat.

2. El càlcul de l'inici del moviment dels vehicles es realitza en els elements de la malla on es troba el mateix vehicle. Atès que el vehicle és un obstacle per l'aigua, els calats augmenten aigua amunt del vehicle, és a dir, en els elements de la malla aigua amunt del cotxe. En els elements on s'ubica el vehicle, els calats i les velocitats són baixos i es requereixen unes condicions de cabal del flux important per a que es produeixi el moviment del vehicle. En zones com la Plaça de Catalunya o el marge dret de l'endegament de l'Onyar, al carrer del Carme, on hi ha una gran quantitat de vehicles, les velocitats que es generen són petites en referència amb les que es produeixen en el mòdul hidràulic però suficients com per moure els flotants. El mateix passa en el carrer Santa Clara i Rambla Llibertat, a l'alçada del Pont de Pedra, on hi arriben els vehicles arrossegats des de la Plaça Catalunya.

En aquestes àrees i en termes purament matemàtics, es pot dir que es disminueix la perillositat, ja que els valors de calat i velocitat en els models de flotants són inferiors als del model hidràulic. Però, si s'avalua en conjunt la dinàmica de l'aigua per l'efecte dels flotants, no es pot afirmar que els danys ocasionats siguin inferiors en cap cas.

5.3 Síntesi dels resultats

L'existència de vehicles en la ciutat afecta a la hidrodinàmica dels episodis d'inundació urbana. Tanmateix, l'efecte està molt localitzat a la zona d'influència del vehicle. Per això, és necessari analitzar en detall les àrees de concentració de vehicles en espais amb poc marge de maniobra.

Des d'una perspectiva global, la inundació es veu poc modificada amb flotants o sense, en termes d'àrea d'inundació, calats, velocitats o cabals específics. Però, amb una visió focalitzada, es poden detectar zones de la ciutat amb afectacions greus que poden ocasionar danys majors dels esperats per l'existència de vehicles en l'àmbit.

És necessari desenvolupar el mòdul de transport de vehicles amb més detall per tal de simular més acuradament el seu moviment i estudiar si l'avaluació del calat i velocitat en el mateix punt on es troba el vehicle és adequat per definir el seu transport, o bé, si s'hauria de suposar algun punt aigua amunt del vehicle per evitar problemes amb velocitats o calats petits.

En general, s'observa que, efectivament, la presència de vehicles en la ciutat té un efecte negatiu en la inundació urbana, produint un augment de la perillositat de manera molt puntual en zones que es caracteritzen per una acumulació d'elements urbans en espais relativament petits i estrets on l'aigua no té cap alternativa de pas.

6. CONCLUSIONS

6.1 Conclusions generals

L'estudi de l'efecte de les avingudes en zones urbanes és essencial per prevenir i mitigar els danys potencials que es poden produir a la integritat de les persones i dels béns materials. L'augment de la impermeabilitat del territori i el canvi climàtic s'han revelat en un increment en les inundacions produïdes a les poblacions i el consegüent augment de l'exposició dels elements urbans.

En els plans d'inundabilitat amb els que treballen les administracions, les avingudes a les ciutats es tracten considerant els edificis de l'àmbit però en cap cas tenen en compte altres elements existents en les vies. En el present estudi es fa la proposta d'avaluar la presència de flotants a la ciutat de Girona i considerar l'efecte dels vehicles estacionats davant de diferents episodis d'avinguda.

L'objectiu principal del present projecte és l'avaluació de la perillositat generada per efecte dels flotants en contrast amb l'estudi hidràulic clàssic. El model usat per simular la dinàmica fluvial ha estat el programari d'Iber. Per a la seva aplicació, ha estat necessari modificar el codi intern d'Iber i aconseguir generar un mòdul de transport de vehicles que simuli el moviment dels cotxes en situacions d'inundació urbana.

Inicialment, s'han estudiat els aspectes teòrics amb els que es basa el model d'Iber per analitzar els càlculs i la relació entre les variables hidrodinàmiques. S'ha exposat, també, el mòdul d'IberWood, que actualment està en ús i és públic per als usuaris. Aquest mòdul simula el transport d'elements fusta en fluxos d'aigua, per la qual cosa constitueix el pas previ a la simulació del transport de vehicles. El mòdul d'IberWood planteja les bases sobre les que es genera el nou mòdul de vehicles, així, doncs, la comprensió del seu funcionament és d'especial rellevància.

Per poder desenvolupar el software capaç de traslladar els cotxes s'ha fet ús d'estudis anteriors que analitzen l'estabilitat dels vehicles en casos d'inundació mitjançant campanyes experimentals dutes a terme en laboratoris. Tant en la definició dels criteris del moviment dels vehicles, com en les característiques geomètriques, les variables que intervenen en la dinàmica dels elements flotants i l'avaluació de les inundacions pluvials en zona urbana, s'ha fet ús de l'estudi elaborat per Martínez (2016). L'aplicació de la seva tesi en el present projecte suposa una continuació del seu treball i la validació de les seves hipòtesis.

El mòdul de transport de vehicles (IberVehicle) sorgeix després d'una profunda indagació en el codi d'Iber i IberWood. Tot i que anteriorment s'han realitzat nombrosos estudis per ambdós mòduls que han servit per a l'anàlisi del programari i la seva validació, s'han trobat diversos conflictes amb els que no es comptava prèviament.

Per una banda, en el mòdul d'Iber, s'ha detectat un desajust en el càlcul de la hidrodinàmica de les condicions internes, és a dir, en els elements amb condicions de ponts en malla. El problema es donava en elements on el pas de temps disminuïa molt i s'excedia el valor límit del número de Courant. En el present projecte, per evitar aquest error, s'han eliminat les condicions internes dels elements de malla conflictius. Actualment, aquest problema ja està resolt i s'incorporarà en la següent versió d'Iber disponible al públic.

Per una altra banda, en el mòdul d'IberWood, s'ha descobert la creació de bucles en les anàlisis de les interaccions dels elements fusta. En anteriors estudis duts a terme amb aquest mòdul no s'havia detectat aquesta fenomen cíclic en els càlculs. Això es deu a què el present àmbit d'estudi conté molts buits que figuren l'existència dels edificis de la ciutat. Donada la mida de malla d'elements relativament grans, en molts casos un únic element de malla tenia dos costats

pertanyents a la geometria dels edificis i, si un tronc es trobava en aquest element, no es localitzava la intersecció del tronc amb l'edifici. La interacció s'avaluava per element de malla en comptes de per cada costat de l'element i, si IberWood no detectava el tronc, restava calculant infinitament. Aquest conflicte no s'havia detectat en altres estudis ja que no disposaven de tants edificis (*buits*) en l'àmbit (per exemple, estudis realitzats en zona rural), els elements de malla eren més petits i cada element corresponia amb un únic costat pertanyent a l'edifici o bé, no coincidia que els troncs es concentrassin en zones anguloses dels edificis. Va suposar un repte important detectar aquest error però es va aconseguir resoldre'l i va permetre el càlcul del model hidràulic dels flotants com a troncs.

Finalment, el mòdul del transport de vehicles exposat consta de grans simplificacions en referència a la geometria dels cotxes i a les interaccions entre els elements. L'aproximació presentada simula el moviment dels flotants amb els condicionants propis dels vehicles i les seves característiques físiques, però les definicions dels elements amb tres punts com els troncs no és un bon ajust per representar els vehicles i pot ser susceptible d'error en les seves trajectòries.

Paral·lelament al desenvolupament del nou model, s'ha fet una cerca minuciosa de la informació disponible de l'àmbit per representar el més detalladament la zona d'estudi. S'ha realitzat un estudi hidrològic i s'ha calibrat a partir de les dades disponibles de les estacions d'aforament existents a la conca de l'Onyar. Dels resultats del model hidrològic, s'han obtingut els hidrogrames corresponents a diversos episodis d'avinguda associats a diferents períodes de retorn per poder elaborar el model hidràulic i simular la inundació de l'àrea.

El model hidràulic ha posat de manifest el mal funcionament del soterrament de la Plaça de Catalunya de Girona. El Consorci del Ter informa que actualment existeix un projecte d'enderrocament i substitució d'aquesta plataforma però encara no està executat. La inundació de la zona urbana es dona pel desbordament de l'Onyar aigua amunt d'aquesta estructura. En els diferents mòduls de càlcul s'han observat com els majors calats i velocitats es produeixen en l'endegament de l'Onyar produint una perillositat extrema.

Respecte a l'avaluació de la perillositat i els resultats obtinguts dels models hidràulics, s'han estudiat dos criteris de valoració: els criteris proposats per l'ACA i els criteris de Russo (2009) i Martínez (2016), que són més restrictius i s'ajusten a les pròpies observacions dutes a terme en experiments d'estabilitat de persones en situació d'inundació urbana.

Els mapes de perillositat s'han obtingut mitjançant l'aplicació dels rangs de perillositat per a persones segons cadascun dels criteris. S'han tingut en compte diferents períodes de retorn amb diferents respostes d'inundació i, per tant, impactes i distribucions de la perillositat diferents.

La variació de la perillositat per l'efecte dels flotants s'ha vist reflectida en zones molt puntuals de l'àmbit on el nivell de concentració de vehicles és elevat i l'espai per facilitar el seu moviment molt limitat. Es conclou que l'efecte dels flotants en la perillositat de la inundació en zona urbana requereix d'una perspectiva focalitzada i local però és necessari fer un estudi global per detectar punts crítics on es poden produir greus danys per la presència d'elements urbans.

6.2 Futurs desenvolupaments

Al llarg del treball s'ha procurat solucionar les dificultats que anaven sorgint. Algunes, per estar fora dels límits d'estudi, no s'han desenvolupat amb el rigor adequat. D'altres, com s'ha vist, s'han pogut solucionar a base de dedicació i perseverança. En conclusió, la intenció, en qualsevol cas, ha estat simplificar i plantejar la direcció que ha de dur un treball futur per continuar estudiant l'efecte dels flotants en episodis d'avinguda i la seva afectació a la perillositat i al risc d'inundació.

Previ a la valoració del present projecte i la proposta de projecció futura es vol fer èmfasi en certs aspectes d'estudis anteriors i relatius als temes tractats.

- El criteri d'inici del moviment de vehicles proposat per Martínez (2016) s'obté mitjançant mètodes experimentals en el que es col·loquen els models dels vehicles paral·lels i perpendiculars al flux. El llindar d'inestabilitat és obtingut considerant el menor cabal específic per cada tipus de vehicle. Es proposa, doncs, elaborar corbes de criteri de moviment en funció de l'angle d'incidència del flux contra el vehicle per aproximar més acuradament el transport dels vehicles sota l'acció de l'aigua.
- El mòdul d'Iber i IberWood s'ha treballat sobretot amb l'aproximació cinemàtica, convertint-los en models robustos, estables i validats. Seria convenient comprovar i verificar l'aproximació dinàmica ja que per al mòdul del transport de vehicles podria suposar una millora considerable en la seva definició geomètrica.

En el marc dinàmic, l'element cotxe estaria definit per un únic punt, en comptes de tres, que coincidiria amb el centre del vehicle en el que es determinaria la seva posició en cada instant de temps. Per al gir o la rotació, es tindrien en compte els quatre extrems del vehicle per determinar la nova orientació del cotxe. El gir dels extrems es calcularia com una rotació al voltant d'un eix que passa pel centre del vehicle.

Respecte a l'evolució que correspondria al present treball, és clar que es necessita continuar millorant i detallant el model del transport de vehicles. Actualment, utilitza la mateixa interfície que el mòdul IberWood i això afavoreix molt la introducció de dades equivocades i promou la generació d'errors. La creació d'una interfície nova comporta un treball i una dedicació de recursos important per la qual cosa seria justificable la seva aportació per a nivells de formació superiors.

Altres característiques que caldria millorar és la definició de la geometria del vehicle. Tot i que suposar les rodes cilíndriques també es una simplificació de la realitat, implica una aproximació molt més ajustada a la proposta que s'ha fet en el present estudi. Aquesta modificació és prou senzilla i podria simular millor el comportament dels vehicles que siguin arrossegats.

També, és necessari canviar les interaccions dels vehicles i definir la seva amplada per evitar situacions de solapament o intrusions d'un element en un altre en la seva col·lisió. Ara mateix, els vehicles estan definits com un eix longitudinal, sense tenir en compte l'efecte de l'amplada de l'element. Això, es tradueix en l'observació d'agrupacions de vehicles irreals i trajectòries dels elements que no simulen bé el que passaria a la realitat. Es requereix delimitar bé els contorns del vehicle i dotar-lo d'una entitat pròpia, emancipant-lo de la geometria dels troncs.

Es vol recordar que en les diferències obtingudes de perillositat, -es va detectar com en el mòdul de vehicles les velocitats es calculen en els mateixos elements de malla on s'ubica el vehicle-, i això pot comportar cert error pel requeriment de cabals elevats per iniciar el seu moviment. Seria convenient estudiar amb més detall aquest efecte i valorar l'avaluació de la velocitat per a l'inici del moviment d'un vehicle en elements de malla aigua amunt del flux d'incidència.

L'abast del present estudi és l'anàlisi de la perillositat i, com s'ha exposat, s'han complert tots els objectius plantejats inicialment de manera satisfactòria. El pas següent correspondria a l'avaluació del risc d'inundació el qual reclama fer l'estudi de vulnerabilitat dels béns existents en l'àmbit.

Per dur a terme l'anàlisi del risc és necessari conèixer el grau de vulnerabilitat i l'exposició dels elements urbans del territori. Si s'assumeix que un grau de vulnerabilitat elevada són zones urbanes de gran densitat d'habitatges, carrers estrets, zones turístiques, espais de vulnerabilitat especial, com els centres hospitalaris, les residències de gent gran, les zones comercials o les

escoles, tot l'àmbit del present estudi tindria la mateixa vulnerabilitat i, per tant, el risc d'inundació dependria de la perillositat de les avingudes produïdes.

Paral·lelament, es pot realitzar la quantificació dels danys produïts per la inundació. Per a la seva comptabilització es requereix fer un estudi de les corbes de danys que generen l'efecte dels vehicles i analitzar els danys directes i indirectes, tangibles i intangibles produïts.

En la determinació dels danys s'assignaria a cada punt de la zona d'estudi el seu nivell de dany en funció de la perillositat. En general, l'estudi dels danys es centra en els danys a béns materials o a persones. L'ACA proposa diferents pesos percentuals, de valor baix en afectacions de perillositat baixa, o la destrucció total en zones inundables de perillositat extrema. Els costos associats a la pèrdua de béns materials o a la pèrdua de vides humanes és diferent i els pesos corresponents també varien. Aquests costos depenen dels usos del sòl ja que un mateix nivell de perillositat produeix pèrdues diferents segons la ubicació de l'àrea inundable.

Per últim, seria necessari elaborar el mapa del valor del risc, fruit de multiplicar els danys de la zona d'estudi amb els costos monetaris segons els usos del sòl. Aquest mapa s'usa per a l'estudi d'alternatives d'actuació per fer front a les inundacions i la realització d'anàlisi cost-benefici. Es pretén, així, comparar els danys esperats d'un episodi d'avinguda determinat respecte al cost total de l'inversió. S'obté d'aquesta manera, la distribució dels costos per metre quadrat de l'àmbit. És important analitzar el valor del risc de les persones separatament dels béns materials i, posteriorment, addicionar ambdós resultats.

A partir del dany estimat de la zona d'inundació per a diferents períodes de retorn, es pot calcular el Dany Anual Esperat (DAE). Es tracta d'una corba que descriu el risc d'inundació d'una zona relacionant la probabilitat d'ocurrència d'un esdeveniment d'avinguda en un any en funció del dany esperat per la inundació.

L'estudi de la determinació dels danys produïts pels vehicles conté certa complexitat que podria vincular-se a un nou estudi i desenvolupar en detall l'anàlisi del risc d'inundació.

7. REFERÈNCIES

- Agència Catalana de l'Aigua (ACA) (2001). Reducció del risc de desbordament de l'Onyar a Girona. Assistència tècnica realitzada per Cast, S. A.
- Agència Catalana de l'Aigua (ACA) (2003). Guia Tècnica, Recomanacions tècniques per als estudis d'inundabilitat d'àmbit local.
- Agència Catalana de l'Aigua (ACA) (2018). Pla de gestió del risc d'inundació del districte de conca fluvial de Catalunya.
- Agència Catalana de l'Aigua (ACA) [en línia]: <http://aca.gencat.cat>
- Ajuntament de Girona (2014). Pla de mobilitat urbana de Girona.
- Ajuntament de Girona [en línia]: <http://www2.girona.cat/ca>
- Arcement, G. J., Schneider, V. R. (1989). "Guide for selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains". United States Geological Survey (USGS) Water-Supply, 2339, Estats Units.
- Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, E., Dolz, J., Coll, A. (2014). Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería, 30(1), 1-10.
- Bladé, E., Ruiz-Villanueva, V., Stoffel, M., Corestein, G. (2015). "Challenges in the numerical modelling of flow, sediment and wood in rivers" a 3rd International Conference on Wood in World Rivers. Padova, Itàlia. 1p.
- Bladé, E., Sánchez-Juny, M., Ruiz-Villanueva, V. (2016). Strategies in the 2D numerical modelling of wood transport in rivers. River Flow 2016, 2333-2340.
- Cea, L., Vázquez-Cendón, E., Puertas, J. (2009). El método de volúmenes finitos aplicado a problemas de ingeniería fluvial y costera. La Gaceta de la RSME, 12(1), 71-94.
- Chaundhry, M. H. (2008). *Open-Channel Flow*. Columbia, Estats Units.
- Chow, V. T. (2004). *Hidráulica de canales abiertos*. McGraw Hill Interamericana, Santafé de Bogotá, Colòmbia.
- Comper, T., Picco, L., Bladé, E., Ruiz-Villanueva, V. (2018). "Numerical modelling of large wood dynamics in the braided Piave River (Italy): the important role of roots" a 5th IAHR Europe Congress. Trento, Itàlia. 557-558.
- Consorti del Ter [en línia]: <https://www.consorcidelter.cat/>
- Dirección General de Tráfico (DGT) (2015). Reglamentación sobre vehículos pesados, prioritarios, especiales, de transporte de personas y mercancías y tramitación administrativa. Ministerio del Interior, Espanya.
- Dirección General de Carreteras (DGC) (2016). Instrucción de Carreteras. Norma 3.1-IC Trazado. Ministerio de Fomento, Espanya.
- El Punt Avui [en línia]: <https://www.elpuntavui.cat/girona.html>

- Falqués, A., Sánchez, J., Marquès, F. (2012). *Mecánica Racional*. Universitat Politècnica de Catalunya, Espanya.
- Flumen Institute, (2018). *Dinámica fluvial. Conceptos básicos del flujo variable en lámina libre en dos dimensiones. Ecuaciones y esquemas numéricos*. Universitat Politècnica de Catalunya, Espanya.
- García-Feal, O., González-Cao, J., Gómez-Gesteira, M., Cea, L., Domínguez, J. M, Formella, A. (2018). An accelerated tool for flood modelling based on Iber. *Water*, 10(10), 1459.
- Gómez, M., Macchione, F., Russo, B. (2010). “Modelo físico para el estudio de los criterios de riesgo en zonas urbanas” a XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica Punta del Este. Uruguay.
- Gracia, A., Godé, Ll., Crego, E., Arrabal, M. A., Guirado, V., García, G., Lobera, C., González, S., Martínez, E. (2010). “Riesgo y cuantificación de daños por inundación” a V Congreso Internacional Ordenamento do Território. Lisboa, Portugal. 15p.
- Iber (2012). *Modelización bidimensional del flujo en lámina libre en aguas poco profundas. Manual básico de usuario*.
- Iber (2014). *Modelización bidimensional del flujo en lámina libre en aguas poco profundas. Manual de referencia hidráulico*.
- Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) [en línia]: <http://www.icgc.cat/>
- Junta d'Aigües (1995). *Anuari de dades hidrològiques 1987-88 / 1988-1989 / 1989-90*. Departament de Política Territorial i Obres Públiques, Generalitat de Catalunya. Barcelona, Espanya.
- La Vanguardia [en línia]: <https://www.lavanguardia.com/>
- Martín Vide, J. P., Martín, P., Roca, M., Simarro, G., López, S., Mazza G. (2004). Modificación del riesgo de inundación de Girona por el crecimiento de la isla del Ter. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 37, 119-135.
- Martínez, E. (2016). *Inundaciones urbanas: criterios de peligrosidad y evaluación del riesgo para peatones y vehículos*. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya, Espanya.
- Martínez-Gomariz, E., Gómez, M., Russo, B., Djordjević, S. (2017). A new experiments-based methodology to define the stability threshold for any vehicle exposed to flooding. *Urban water journal*, 14(9), 930-939.
- Martínez-Gomariz, E., Gómez, M., Russo, B., Djordjević, S. (2018). Stability criteria for flooded vehicles: a state-of-the-art review. *Journal of flood risk management*, 11(Supplement S2), S817-S826.
- Navarro, M. (2012). *Dinámica de un sólido rígido*. Universidad de Almería, Espanya.
- Petts, G. E., Amoros, C. (1996). *Fluvial Hydrosystems*. Londres, Regne Unit.
- Protecció Civil (2017). *Pla Especial d'emergències per inundacions (INUNCAT)*. Departament d'Interior, Generalitat de Catalunya. Barcelona, Espanya.

- Ramírez, P., Loizaga, M., López, J. (2015). Cinemática del sólido rígido. Universidad del País Vasco, Espanya.
- Ribas, A. (1994). Un nou enfocament per a l'estudi de les inundacions històriques a la ciutat de Girona: l'enfocament contextual. *Annals de l'Institut d'Estudis Gironins*, Vol. 34.
- Ribas, A. (2001). Girona, ciutat fluvial. *Annals de l'Institut d'Estudis Gironins*, Vol. 42.
- Ruiz-Villanueva, V., Bladé, E., Díez-Herrero, A., Bodoque, J. M., Sánchez-Juny, M. (2013). Two-dimensional modelling of large wood transport during flash floods. *Earth Surface Processes and Landforms*, 39(4), 438-449.
- Ruiz-Villanueva, V., Bladé, E., Sánchez-Juny, M., Martí-Cardona, B., Díez-Herrero, A., Bodoque, J. M. (2014a). Two-dimensional numerical modeling of wood transport. *Journal of Hydroinformatics*, 16(5), 1077-1096.
- Ruiz-Villanueva, V., Bodoque, J. M., Díez-Herrero, A., Bladé, E. (2014b). Large wood transport as significant influence on flood risk in a mountain village. *Natural Hazards*, 74(2), 967-987.
- Ruiz-Villanueva, V., Díez-Herrero, A., Bodoque, J. M., Bladé, E. (2015). Avances en el análisis del material leñoso en ríos: incorporación, transporte e influencia en el riesgo por inundaciones. *Cuaternario y Geomorfología*, 29(3-4), 7-33.
- Russo, B. (2009). Design of surface drainage systems according to hazard criteria related to flooding of urban areas. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya, Espanya.
- Russo, B. (2017). Gestión y evaluación del riesgo de inundaciones. *Dinàmica Fluvial*, Màster d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports. Universitat Politècnica de Catalunya, Espanya.
- Severe Weather Europe [en línia]: <http://www.severe-weather.eu/>

ANNEXES

ANNEX A. RELACIÓ CATEGORIES MCSC – COEFICIENT DE RUGOSITAT DE MANNING

C_SIMPLE	NOM_MCSC3	N_VALUE	n_CODE
mar	Mar	0.040	n_0040
barb20	Arboèar (>= 20%cc)	0.100	n_0100
bbp20	Bedollar (>= 20%cc)	0.100	n_0100
bca20	Avellanosa (>= 20%cc)	0.100	n_0100
bcad20	Altres caducifolis (>= 20%cc)	0.100	n_0100
bcad5	Altres caducifolis (5-20%cc)	0.100	n_0100
bcon20	Altres coníferes (>= 20%cc)	0.100	n_0100
bcs20	Castanyeda (>= 20%cc)	0.100	n_0100
bcs20	Plantacions de castanyer	0.100	n_0100
bph20	Pineda de pi blanc (>= 20%cc)	0.100	n_0100
bph5	Pineda de pi blanc (5-20%cc)	0.100	n_0100
bphf	Franja de protecció de pi blanc	0.100	n_0100
bphp	Plantacions de pi blanc	0.100	n_0100
bphr	Regeneració de pi blanc	0.100	n_0100
bpm5	Pineda de pinastre (5-20%cc)	0.100	n_0100
bpm20	Pineda de pinastre (>= 20%cc)	0.100	n_0100
bpmp	Plantacions de pinastre	0.100	n_0100
bpn20	Pineda de pinassa (>= 20%cc)	0.100	n_0100
bpp20	Pineda de pi pinyer (>= 20%cc)	0.100	n_0100
bpp5	Pineda de pi pinyer (5-20%cc)	0.100	n_0100
bppf	Franja de protecció de pi pinyer	0.100	n_0100
bpnp	Plantacions de pi pinyer	0.100	n_0100
bqf20	Roureda de roure de fulla menuda (>= 20%cc)	0.100	n_0100
bqh5	Roureda de roure martinenc (5-20%cc)	0.100	n_0100
bqh20	Roureda de roure martinenc (>= 20%cc)	0.100	n_0100
bqi20	Alzinar (>= 20%cc)	0.100	n_0100
bqi5	Alzinar (5-20%cc)	0.100	n_0100
bqif	Franja de protecció d'alzina	0.100	n_0100
bqir	Regeneració d'alzina	0.100	n_0100
bqp20	Roureda de roure de fulla gran (>= 20%cc)	0.100	n_0100
bqs5	Sureda (5-20%cc)	0.100	n_0100
bqs20	Sureda (>= 20%cc)	0.100	n_0100
bribc5	Bosc caducifolis de ribera (5-20%cc)	0.100	n_0100
bribc20	Bosc caducifolis de ribera (>= 20%cc)	0.100	n_0100
canya	Canyars	0.070	n_0070
ch	Altres conreus herbacis	0.040	n_0040
chb	Altres conreus herbacis en bancals	0.040	n_0040
chbr	Altres conreus herbacis en bancals en regadiu	0.040	n_0040
chr	Altres conreus herbacis en regadiu	0.040	n_0040

C_SIMPLE	NOM_MCSC3	N_VALUE	n_CODE
cii	Conreus d'horta sota plàstic	0.040	n_0040
ci	Hivernacles	0.040	n_0040
cl	Fruiters no cítrics	0.060	n_0060
clb	Fruiters no cítrics en bancals	0.060	n_0060
clr	Fruiters no cítrics en regadiu	0.060	n_0060
co	Oliverars	0.060	n_0060
cob	Oliverars en bancals	0.060	n_0060
cor	Oliverars en regadiu	0.060	n_0060
cv	Vinyes	0.050	n_0050
cvb	Vinyes en bancals	0.050	n_0050
da	Abocadors	0.040	n_0040
dip	Altres construccions	0.080	n_0080
eai	Edificis aïllats	0.080	n_0080
eb	Conreus abandonats - boscos	0.070	n_0070
egarp	Garroferars abandonats - prats en zones agrícoles	0.060	n_0060
ehp	Altres conreus herbacis abandonats - prats en zones agrícoles	0.040	n_0040
ehpr	Altres conreus herbacis abandonats regadiu no regat - prats en zones agrícoles	0.040	n_0040
elp	Fruiters no cítrics abandonats - prats en zones agrícoles	0.060	n_0060
elpb	Fruiters no cítrics abandonats - prats en zones agrícoles en bancals	0.060	n_0060
elpr	Fruiters no cítrics abandonats regadiu no regat - prats en zones agrícoles	0.060	n_0060
em	Conreus abandonats - matollars	0.070	n_0070
eme	Edificis entre mitgeres	0.080	n_0080
epf	Conreus abandonats - prats en zones forestals	0.035	n_0035
gar	Garroferars	0.060	n_0060
garb	Garroferars en bancals	0.060	n_0060
gl	Vegetació d'aiguamoll Sòlitorals	0.040	n_0040
gm	Vegetació d'aiguamolls continentals	0.040	n_0040
had	Habitatges unifamiliars adossats	0.080	n_0080
hua	Habitatges unifamiliars aïllats	0.080	n_0080
ib	Zones cremades	0.040	n_0040
l	Platges	0.025	n_0025
m	Matollars	0.070	n_0070
mdun	Vegetació arbustiva de dunes i sorral	0.070	n_0070
mel	Matollars en línies elèctriques	0.070	n_0070
mfp	Franja de protecció de matollars	0.070	n_0070
mr	Matollars de formacions de ribera	0.070	n_0070
mt	Matollars procedents de tallades arreu	0.070	n_0070
na	Sòls nus urbans no edificats	0.080	n_0080
na	Sòls nus urbans no edificats	0.080	n_0080
nac	Zones urbanes en construcció	0.080	n_0080

C_SIMPLE	NOM_MCSC3	N_VALUE	n_CODE
nau	Naus	0.080	n_0080
nc	Conreus en transformació	0.030	n_0030
nl	Lleres naturals	0.035	n_0035
nn	Sòl erosionat per agent natural	0.030	n_0030
nna	Sòl nu per acció antròpica	0.040	n_0040
nnael	Sòl nu en línies elèctriques	0.040	n_0040
p	Prats i herbassars	0.040	n_0040
pcon	Plantacions de coníferes no autòctones	0.100	n_0100
pdun	Vegetació herbàcia de dunes i sorral	0.035	n_0035
pel	Prats i herbassars en línies elèctriques	0.035	n_0035
peu	Plantacions d'eucaliptus	0.100	n_0100
pf	Prats i herbassars en tallafocs	0.035	n_0035
pfp	Franja de protecció de prats i herbassars	0.035	n_0035
pk	Zones d'aparcament	0.040	n_0040
pkc	Grans vials	0.040	n_0040
pkv	Àrees de vianants sense vegetació	0.040	n_0040
ppl	Plantacions de plàtans	0.100	n_0100
ppo	Plantacions de pollancre	0.100	n_0100
pt	Prats i herbassars procedents de tallades arreu	0.040	n_0040
r	Roquissars	0.040	n_0040
ra	Rompudes agrícoles	0.040	n_0040
tg	Moviments de terres	0.040	n_0040
viva	Vivers agrícoles	0.060	n_0060
wb	Basses agrícoles	0.025	n_0025
wc	Llacs i llacunes continentals	0.025	n_0025
we	Embassaments	0.025	n_0025
wl	LlacuneSòlitorals	0.025	n_0025
wr	Rius	0.030	n_0030
wu	Basses urbanes	0.025	n_0025
zu	Zones verdes artificials urbanes	0.090	n_0090
zua	Arbrat urbà	0.090	n_0090

ANNEX B. AJUST DE LES ESTACIONS D'AFORAMENT

	Q_{max} (m/s)	Fi	Y	log (P24)
Mitjana	180.69	0.50	0.55	2.05
Dv. std.	156.38	0.29	1.17	0.49
Cv	0.865	0.571	2.135	0.239
Cs	1.063	0.000	0.768	-0.585
N Dades	48	-	-	-
Min.	6.40	-	-	-
Max.	620.61	-	-	-

GUMBEL (MOM)	
$\mu =$	110.31
$\alpha =$	121.93

SQRT-Et _{max}	
K=	5.80
l1	6.03
α=	0.10

Log Pearson III	
$\alpha =$	11.69
$\beta =$	0.14
$\gamma =$	3.72

Test de Bondat de l'Ajust

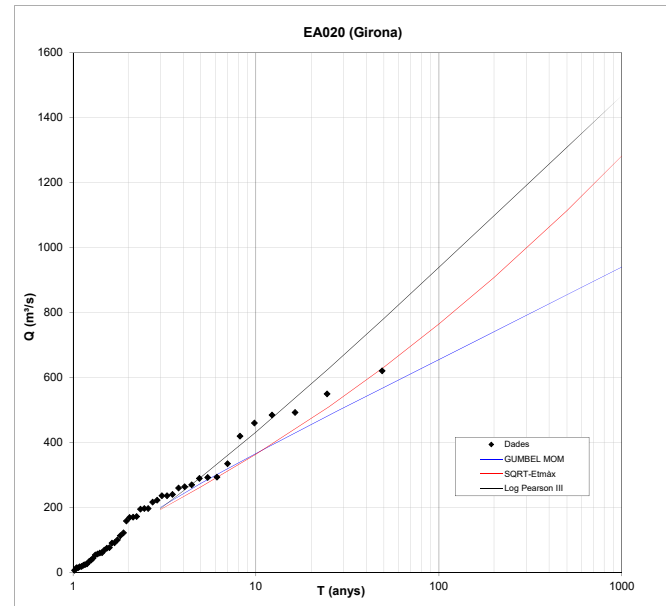
Nivell de Significació 5%

K-S	OK
χ^2	OK

K-S	OK
χ^2	NO

K-S	OK
χ^2	NO

Any	Q_{max} (m ³ /s)	i	Fi	Y	log (Q)	T (any)
2015	6.40	1	0.02	-1.36	0.91	1.02
2016	14.92	2	0.04	-1.16	1.17	1.04
1983	15.00	3	0.06	-1.03	1.18	1.07
1998	17.80	4	0.08	-0.92	1.25	1.09
2007	18.31	5	0.10	-0.83	1.26	1.11
2012	22.70	6	0.12	-0.74	1.36	1.14
1981	24.40	7	0.14	-0.67	1.39	1.17
1958	26.00	8	0.16	-0.59	1.41	1.20
1962	34.00	9	0.18	-0.53	1.53	1.23
1980	38.00	10	0.20	-0.46	1.58	1.26
2017	43.65	11	0.22	-0.40	1.64	1.29
2013	54.41	12	0.24	-0.34	1.74	1.32
1976	57.00	13	0.27	-0.28	1.76	1.36
1970	60.00	14	0.29	-0.23	1.78	1.40
1987	61.00	15	0.31	-0.17	1.79	1.44
2010	68.83	16	0.33	-0.11	1.84	1.48
2009	74.40	17	0.35	-0.06	1.87	1.53
1985	77.00	18	0.37	0.00	1.89	1.58
2001	80.00	19	0.39	0.05	1.95	1.63
1961	81.00	20	0.41	0.11	1.96	1.69
2000	100.00	21	0.43	0.17	2.00	1.75
2008	112.78	22	0.45	0.22	2.05	1.81
1997	122.00	23	0.47	0.28	2.09	1.88
2002	158.20	24	0.49	0.34	2.20	1.96
1960	169.00	25	0.51	0.40	2.23	2.04
1990	170.00	26	0.53	0.46	2.23	2.13
2006	172.40	27	0.55	0.52	2.24	2.23
1984	195.00	28	0.57	0.58	2.29	2.33
1999	198.00	29	0.59	0.65	2.29	2.45
2005	198.61	30	0.61	0.71	2.29	2.58
1964	217.00	31	0.63	0.78	2.34	2.72
2011	222.68	32	0.65	0.85	2.35	2.88
1989	236.00	33	0.67	0.93	2.37	3.06
2003	236.10	34	0.69	1.01	2.37	3.27
1979	240.00	35	0.71	1.09	2.38	3.50
1978	260.00	36	0.73	1.18	2.41	3.77
1996	264.00	37	0.76	1.27	2.42	4.08
1986	270.00	38	0.78	1.37	2.43	4.45
1956	290.00	39	0.80	1.48	2.46	4.90
2004	292.60	40	0.82	1.59	2.47	5.44
2014	293.61	41	0.84	1.72	2.47	6.13
1963	335.00	42	0.86	1.87	2.53	7.00
1983	420.00	43	0.88	2.04	2.62	8.17
1982	460.00	44	0.90	2.23	2.66	9.80
1977	485.00	45	0.92	2.43	2.69	12.25
2018	492.62	46	0.94	2.76	2.69	16.33
1969	500.00	47	0.96	3.18	2.74	24.50
1995	620.61	48	0.98	3.88	2.79	49.00



		GUMBEL MOM	SQRT-Etm _{ax}	Log Pearson III
Fi	T (anys)	Q (m ³ /s)	Q (m ³ /s)	Q (m ³ /s)
0.67	3	201	193	196
0.8	5	274	263	283
0.9	10	367	364	432
0.96	25	484	510	628
0.98	50	570	633	783
0.99	100	656	765	940
0.995	200	742	909	1099
0.998	500	855	1115	1310
0.999	1000	941	1283	1469

GUMBEL (MOM)	
$\mu =$	114.26
$\alpha =$	122.65

SQRT-Et _{max}	
K=	6.12
l1	5.89
α=	0.10

Log Pearson III	
$\alpha=$	73.23
$\beta=$	0.05
$\gamma=$	6.01

Nivell de Significació 5%

K-S	OK
χ^2	NO

K-S	OK
X^2	NO

K-S	OK
X^2	NO

Figure 10 is a log-log plot showing the peak discharge Q (in m^3/s) versus time T (in anys) for the EA123 (Camplong) station. The x-axis ranges from 1 to 1000 anys, and the y-axis ranges from 0 to 2500 m^3/s . The plot displays observed data points (black diamonds) and three fitted curves: GUMBEL MOM (blue line), SQRT-Etmax (red line), and Log Pearson III (black line). The Log Pearson III curve provides the best fit to the observed data.

		GUMBEL MOM	SQRT-Ertmax	Log Pearson III
FI	T (anys)	Q (m/s)	Q (m/s)	Q (m/s)
0.67	3	139	198	191
0.8	5	207	269	289
0.9	10	294	370	444
0.96	25	404	517	688
0.98	50	485	639	905
0.99	100	565	772	1152
0.995	200	646	915	1428
0.998	500	752	1122	1843
0.999	1000	832	1290	2194

GUMBEL (MOM)	
$\mu =$	97.65
$\alpha =$	147.79

SQRT-Et _{max}	
K=	1.00
l1	1.00
α=	0.00

Log Pearson III	
$\alpha=$	3.31
$\beta=$	0.46
$\gamma=$	3.36

Nivell de Significació 5%

K-S	OK
χ^2	OK

K-S	NO
X^2	NO

K-S	OK
χ^2	OK

EA124 (Riudellots de la Selva)

Y-axis: $Q \text{ (m}^3\text{/s)}$

X-axis: $T \text{ (anys)}$

Legend:

- ◆ Dades
- GUMBEL MOM
- SQRTEtmáx
- Log Pearson III

		GUMBEL MOM	SQRT-Ertmax	Log Pearson III
FI	T (anys)	Q (m/s)	Q (m/s)	Q (m/s)
0.67	3	142	927	199
0.8	5	220	1875	352
0.9	10	317	3382	579
0.96	25	440	5756	879
0.98	50	531	7840	1089
0.99	100	622	10175	1277
0.995	200	712	12759	1442
0.998	500	831	16557	1625
0.999	1000	921	19717	1739

ANNEX C. OBRES DE DRENATGE DEL MODEL HIDROLÒGIC

Taula C. 1: Obres de drenatge representades en el model hidrològic.

Nom	X	Y	Llum [m]	Gàlib [m]	Diàmetre [m]	Representació model
ON_HI_001	477722.628	4637804.66	4	1,5	-	Culvert
ON_HI_007	480101.012	4636005.92	5	3	-	Culvert
ON_HI_008	480158.692	4636136.1	5	3	-	Culvert
ON_HI_009	480207.904	4636238.23	5	3	-	Culvert
ON_HI_011	480297.334	4636447.78	5	3	-	Culvert
ON_HI_013	480526.993	4636962.13	5	3	-	Culvert
ON_HI_014	480540.751	4636993.35	5	3	-	Culvert
ON_HI_017	481066.479	4638166.25	7	4	-	Culvert
ON_HI_020	481726.88	4639669.08	10	4	-	Culvert
ON_HI_021	481876.106	4640232.12	14	5	-	Culvert
ON_HI_024	481279.393	4640434.75	3,5	3,5	-	Culvert
ON_HI_030	480954.105	4636835	5	2	-	Culvert
ON_HI_031	481031.496	4636844.26	7,5	2,5	-	Culvert
ON_HI_034	481214.389	4637689.87	2	2	-	Culvert
ON_HI_035	481338.215	4638031.19	3,5	2	-	Culvert
ON_HI_038	480392.122	4635531.21	4	2	-	Culvert
ON_HI_039	480742.696	4635310.28	4	2	-	Culvert
ON_HI_040	481263.871	4635178.87	4	2	-	Culvert
ON_HI_041	481169.282	4635195.41	6	2	-	Culvert
ON_HI_044	481638.919	4635690.18	3,5	2	-	Culvert
ON_HI_046	481540.848	4635582.59	5	2	-	Culvert
ON_HI_047	481428.929	4635569.89	2	2	-	Culvert
ON_HI_048	481624.192	4635611.16	5	3	-	Culvert
ON_HI_049	481685.205	4635922.79	2	2	-	Culvert
ON_HI_050	481712.722	4636063.02	2	2	-	Culvert
ON_HI_051	481741.297	4636202.19	2	2	-	Culvert
ON_HI_052	481833.901	4636658.86	5	2	-	Culvert
ON_HI_054	481991.064	4637439.38	4	2	-	Culvert
ON_HI_056	481927.035	4637719.84	-	-	2	Culvert
ON_HI_057	482139.231	4637643.11	-	-	2	Culvert
ON_HI_060	482668.849	4640244.03	5	3	-	Culvert
ON_HI_061	483876.498	4641585.74	3	2	-	Culvert
ON_HI_063	483607.945	4640104.86	2	2	-	Culvert
ON_HI_066	484682.685	4638515.77	8	4	-	Culvert
ON_HI_070	484203.126	4636210.59	3,5	3	-	Culvert

Taula C. 1: Obres de drenatge representades en el model hidrològic.

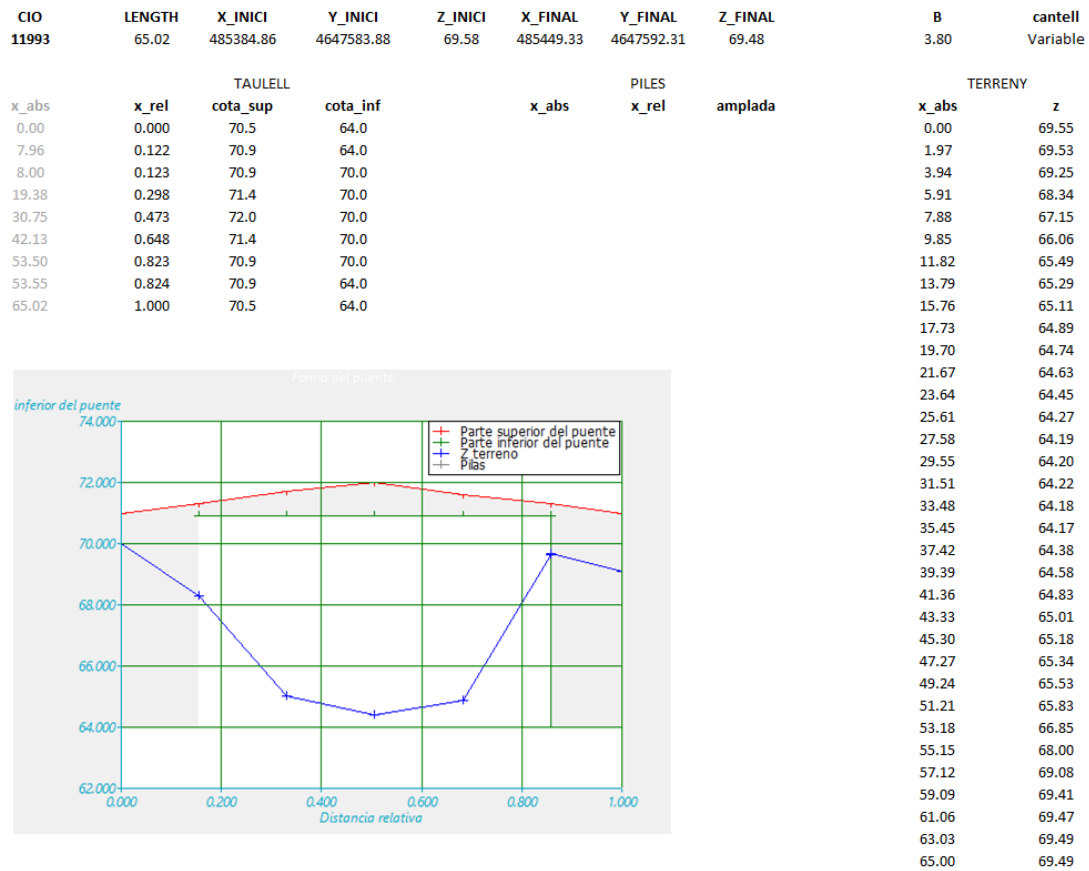
Nom	X	Y	Llum [m]	Gàlib [m]	Diàmetre [m]	Representació model
ON_HI_071	488655.683	4627480.62	3	2	-	Culvert
ON_HI_073	489230.282	4628088.08	3	2	-	Culvert
ON_HI_075	489615.78	4628635.18	6	2	-	Culvert
ON_HI_076	489720.555	4628496.28	2	2	-	Culvert
ON_HI_077	490904.621	4628636.72	5	2	-	Culvert
ON_HI_078	491569.256	4629057.93	8	3	-	Culvert
ON_HI_079	491224.238	4628740.43	2	2	-	Culvert
ON_HI_080	491670.591	4628387.21	3	2	-	Culvert
ON_HI_081	491695.065	4629352.94	5	2	-	Culvert
ON_HI_083	490772.026	4630350.32	12	5	-	Culvert
ON_HI_085	492105.887	4631320.8	2	2	-	Culvert
ON_HI_087	491980.474	4631484.31	2	2	-	Culvert
ON_HI_088	491901.099	4631573.21	2	2	-	Culvert
ON_HI_089	491275.623	4632250.28	2	2	-	Culvert
ON_HI_090	490807.309	4632291.55	2	2	-	Culvert
ON_HI_091	490615.155	4633525.51	2	2	-	Culvert
ON_HI_093	490510.777	4634195.43	2	2	-	Culvert
ON_HI_096	489949.237	4636805.55	2	2	-	Culvert
ON_HI_097	489311.205	4636274.19	3	2	-	Culvert
ON_HI_100	488548.356	4637922.42	3	2	-	Culvert
ON_HI_101	488688.85	4638074.03	3	2	-	Culvert
ON_HI_102	488013.103	4638005.24	2,5	1,5	-	Culvert
ON_HI_104	484859.581	4638487.08	9	4	-	Culvert
ON_HI_108	487621.834	4640668.43	3	2	-	Culvert
ON_HI_111	486874.517	4644106.97	2	2	-	Culvert
ON_HI_113	486935.636	4644820.55	2	2	-	Culvert
ON_HI_117	487593.171	4646117.52	2	2	-	Culvert
ON_HI_118	487549.779	4646413.85	-	-	2	Culvert
ON_HI_119	487506.388	4646502.75	-	-	2	Culvert
ON_HI_120	487435.479	4646838.24	3	2	-	Culvert
ON_HI_121	487471.463	4646638.22	-	-	2	Culvert
ON_HI_122	486910.545	4646586.36	1,5	1,5	-	Culvert
ON_HI_124	485502.659	4648589.19	6	1,5	-	Culvert
ON_HI_125	485449.147	4650129.59	2	2	-	Culvert
ON_HI_127	487403.628	4648357.25	3	2	-	Culvert
ON_HI_128	487355.209	4648493.78	2	2	-	Culvert

Taula C. 1: Obres de drenatge representades en el model hidrològic.

Nom	X	Y	Llum [m]	Gàlib [m]	Diàmetre [m]	Representació model
ON_HI_129	487382.196	4648729.52	2	2	-	Culvert
ON_HI_132	487504.434	4649685.2	2	2	-	Culvert
ON_HI_133	487412.359	4649915.39	2	2	-	Culvert
ON_HI_134	487343.303	4650136.05	2	2	-	Culvert
ON_HI_137	484206.817	4642635.14	2	2	-	Culvert
ON_HI_139	486490.099	4634215	6	2	-	Culvert
ON_HI_140	486547.249	4634194.89	10	3	-	Culvert
ON_HI_142	485183.363	4633018.42	4	2	-	Culvert
ON_HI_145	491923.108	4630821.23	3,5	2	-	Culvert
ON_HI_146	491016.115	4630992.57	3	2	-	Culvert
ON_HI_149	491511.733	4626986.77	3,5	2	-	Culvert
ON_HI_150	488805.067	4628568.51	6	2	-	Culvert
ON_HI_151	474684.924	4636408.6	3	2	-	Culvert
ON_HI_152	474712.044	4636325.26	3	2	-	Culvert
ON_HI_153	474734.534	4636272.34	3	2	-	Culvert
ON_HI_154	475806.275	4636471.62	2	2	-	Culvert
ON_HI_155	472471.248	4637636.32	2	2	-	Culvert
ON_HI_156	472023.043	4637779.99	2	2	-	Culvert
ON_HI_157	474572.838	4636004.32	2	2	-	Culvert
ON_HI_158	477902.89	4636381.51	7,5	2,5	-	Culvert
ON_HI_160	481365.499	4634333.17	2	2	-	Culvert
ON_HI_161	471851.672	4638837.6	2	2	-	Culvert
ON_HI_162	471931.947	4638947.41	2	2	-	Culvert
ON_HI_171	471068.968	4641071.64	2	2	-	Culvert
ON_HI_166	482767.16	4641695.03	15	5	-	Culvert
ON_HI_176	481528.968	4637878.64	-	-	2	Culvert
ON_HI_177	482556.208	4639660.08	5	3	-	Culvert
ON_HI_178	482848.627	4641535.7	15	5	-	Culvert
ON_HI_179	485474.778	4650584.67	2	2	-	Culvert
ON_HI_180	487277.519	4647145.87	2	2	-	Culvert

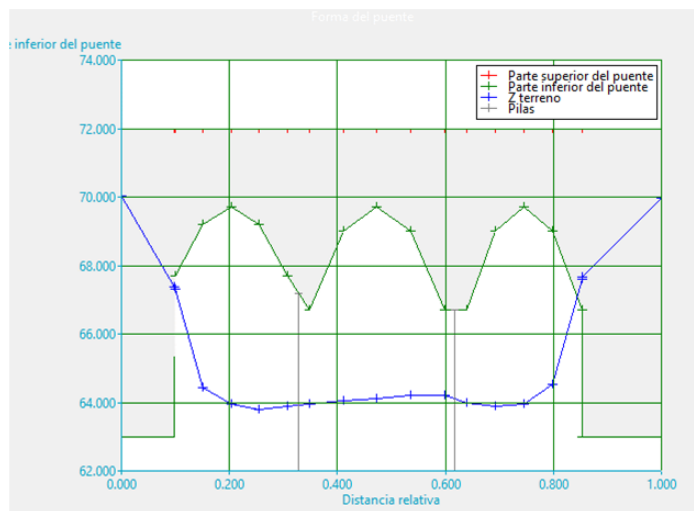
ANNEX D. PARAMETRITZACIÓ DE LES ESTRUCTURES DEL MODEL HIDRÀULIC

Passera de l'Alferes Huarte (170KV060 / 11993)



Pont de Pedra (170KV061 / 11994)

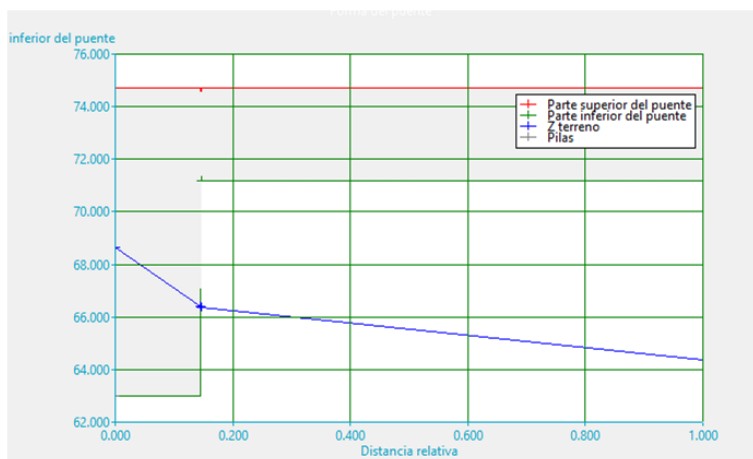
CIO	LENGTH	X_INICI	Y_INICI	Z_INICI	X_FINAL	Y_FINAL	Z_FINAL	B	cantell
11994	80.45	485327.24	4647874.09	70.23	485407.66	4647876.48	69.96	10.20	2.30
TAULELL				PILES			TERRENY		
x_abs	x_rel	cota_sup	cota_inf		x_abs	x_rel	amplada	x_abs	z
0.00	0.000	72.0	63.0		26.35	0.328	3.30	0.00	70.19
7.92	0.098	72.0	63.0		49.75	0.618	3.30	1.96	70.28
8.00	0.099	72.0	67.7					3.93	69.90
12.18	0.151	72.0	69.2					5.89	68.96
16.35	0.203	72.0	69.7					7.85	67.46
20.53	0.255	72.0	69.2					9.81	65.59
24.70	0.307	72.0	67.7					11.78	64.49
28.00	0.348	72.0	66.7					13.74	64.24
33.03	0.411	72.0	69.0					15.70	64.03
38.05	0.473	72.0	69.7					17.66	63.86
43.08	0.535	72.0	69.0					19.63	63.80
48.10	0.598	72.0	66.7					21.59	63.81
51.40	0.639	72.0	66.7					23.55	63.85
55.70	0.692	72.0	69.0					25.51	63.89
60.00	0.746	72.0	69.7					27.48	63.93
64.30	0.799	72.0	69.0					29.44	63.97
68.60	0.853	72.0	66.7					31.40	64.01
68.67	0.854	72.0	63.0					33.37	64.05
80.45	1.000	72.0	63.0					35.33	64.08



Pont de les Peixateries Velles (170KV062 / 11995)

CIO	LENGTH	X_INICI	Y_INICI	Z_INICI	X_FINAL	Y_FINAL	Z_FINAL	B	cantell
11995	44.37	485388.08	4648085.25	68.66	485429.36	4648068.98	63.56	2.80	3.50

TAULELL				PILES			TERRENY	
x_abs	x_rel	cota_sup	cota_inf	x_abs	x_rel	amplada	x_abs	z
0.00	0.000	74.70	63.00				0.00	68.64
6.45	0.145	74.70	63.00				1.94	68.62
6.46	0.146	74.70	71.20				3.88	67.69
44.37	1.000	74.70	71.20				5.82	66.49

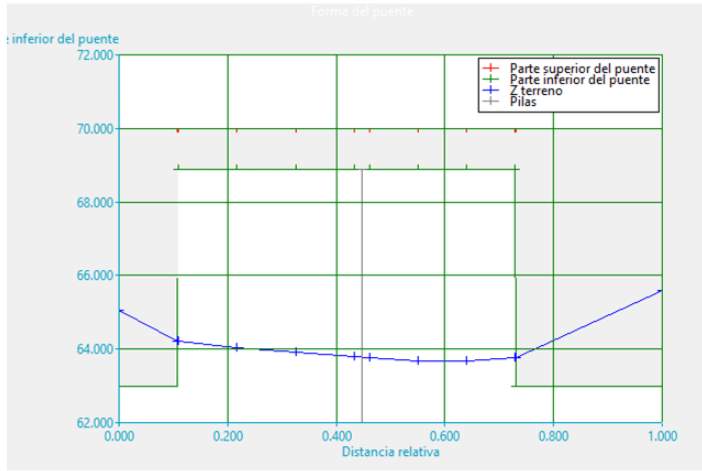


x_abs	z
0.00	68.64
1.94	68.62
3.88	67.69
5.82	66.49
6.00	66.15
7.98	66.15
8.48	66.12
8.98	65.71
9.47	64.47
9.97	63.59
15.43	63.59
46.18	63.59
46.68	63.59
47.17	64.04
47.67	64.77
48.16	65.31
48.66	65.76
49.16	66.06
49.65	66.10
54.61	66.10

Pont de Sant Agustí (170KV063 / 11996)

CIO	LENGTH	X_INICI	Y_INICI	Z_INICI	X_FINAL	Y_FINAL	Z_FINAL	B	cantell
11996	46.95	485426.83	4648183.68	65.20	485470.57	4648166.61	65.47	3.60	1.10

TAULELL				PILES			TERRENY	
x_abs	x_rel	cota_sup	cota_inf	x_abs	x_rel	amplada	x_abs	z
0.00	0.000	70.0	63.0	20.97	0.447	1.30	0.00	64.33
5.09	0.108	70.0	63.0				1.91	64.13
5.10	0.109	70.0	68.9				3.81	64.09
10.17	0.217	70.0	68.9				5.72	64.05
15.25	0.325	70.0	68.9				7.62	64.01
20.32	0.433	70.0	68.9				9.53	63.97
21.62	0.461	70.0	68.9				11.44	63.92
25.82	0.550	70.0	68.9				13.34	63.88
30.02	0.639	70.0	68.9				15.25	63.83
34.22	0.729	70.0	68.9				17.15	63.79
34.25	0.730	70.0	63.0				19.06	63.73
46.95	1.000	70.0	63.0				20.97	63.69
							22.87	63.62
							24.78	63.67
							26.68	63.72
							28.59	63.76
							30.50	63.82
							32.40	63.87
							34.31	63.93
							36.21	64.17
							38.12	64.67
							40.03	65.16



Soterrament a la Plaça de Catalunya (170E0011 / 4950)

NOM_IBER	LENGTH	X_INICI	Y_INICI	Z_INICI	X_FINAL	Y_FINAL	Z_FINAL	TIPUS	B	H
4950_C1	137.59	485369.19	4647689.62	63.78	485349.52	4647825.79	63.92	R	7.50	5.70
4950_C2	137.18	485378.34	4647690.88	63.76	485359.51	4647826.76	64.00	R	8.90	5.30
4950_C3	137.01	485389.28	4647691.86	63.84	485370.33	4647827.56	64.00	R	8.50	5.20
4950_C4	136.48	485397.94	4647692.51	63.90	485381.92	4647828.05	63.93	R	5.50	5.20

